

Daniel Becker

**Systematisierung von Spannvorrichtungen mit gerändelten
Spannflächen**

BACHELORARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Maschinenbau

Mittweida 2010

Daniel Becker

**Systematisierung von Spannvorrichtungen mit gerändelten
Spannflächen**

eingereicht als

Bachelorarbeit

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE**

Fakultät Maschinenbau

Mittweida 2010

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. U. Mahn

Zweitprüfer: Dr.-Ing. D. Melzer

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung

Becker, Daniel

Systematisierung von Spannvorrichtungen mit gerändelten Spannflächen. - 2010. - 60 Seiten, Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit 2010

Referat

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Untersuchung von Probenhaltern für Zugversuche mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen. Für die Erfüllung dieser Arbeit werden maximale Zugkräfte bei verschiedenen Spanndrücken unter Verwendung von gerändelten und ungerändelten Spannbackenaufsätzen erfasst. Unter zu Hilfe-nahme dieser Ergebnisse werden Spannbeiwerte berechnet, die eine sichere Auslegung der Bauteileinspannung während des Zugversuches gewährleisten soll.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzeichenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	9
1.1 IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden	9
1.2 Problemstellung	9
1.3 Zielstellung	11
1.4 Motivation und Herangehensweise	11
2 Grundlagen und Stand der Technik	12
2.1 Werkstoff- und Bauteilprüfung	12
2.2 Probenaufnahmen	14
2.3 Kraftübertragung und Spannprinzipien	15
2.3.1 Stoffschluss	15
2.3.2 Formschluss (Berührungsschluss)	16
2.3.3 Kraftschluss	16
2.4 Probenaufnahmen für den Zugversuch	16
2.5 Tribologie und Reibung	17
2.5.1 Allgemeine Betrachtung zur Reibung	18
2.5.2 Reibungsarten, Reibungszustände, Reibungsmechanismen	19
2.5.3 Reibungsverhalten in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur	21
2.6 Rändel nach DIN 82 und DIN 8583-5	22
3 Theoretische Erkenntnisse über das Eindringen der Rändelspitze in den Werkstoff	23
3.1 Ermittlung der erforderlichen Spannkraft und zulässigen Zugkraft	23
3.2 Einleiten der Spannkraft	25
3.3 Zugkraft über Spannkraft	26
4 Experimentelle Untersuchungen	27
4.1 Ziel	27
4.2 Versuchsvorbereitung und Versuchsprogramm	27
4.3 Versuchsdurchführung	29
5 Versuchsauswertung	31
5.1 Versuchsauswertung	31
5.1.1 Versuche mit ungerändelten Spannflächen	32

5.1.2	Versuche mit gerändelten Spannflächen.....	34
5.1.2.1	Spannfläche mit Rändelung RKV 10 - 90 DIN 82, 45° zur Zugrichtung	34
5.1.2.2	Spannfläche mit Rändelung RAA 10 DIN 82.....	37
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	39
6.1	Zusammenfassung	39
6.2	Ausblick	41
7	Literatur	42
8	Anlagen	44
A	Zeichnungen der gefertigten Spannbackenaufsätze	44
B	Berechnungen der theoretischen Eindringtiefe unter zu Hilfenahme der Software MathCAD.....	47
C	Oberflächenmessungen der Probe 2 vor und nach dem Versuch	50
D	Grafische Übersicht der erreichten Zugkraft über die Spannkraft für die einzelnen Versuchsreihen	56

Kurzzeichenverzeichnis

Symbol	Einheit	Bezeichnung
α	Grad	Profilwinkel
μ		Reibwert
μ_{Spann}		Spannbeiwert
σ	N/mm ²	Spannung, Festigkeit
h	mm	Eindringtiefe
t	mm	Teilung
F_N	N	Normalkraft
F_R	N	Reibkraft
F_S	N	Spannkraft
F_Z	N	Zugkraft
RAA		Rändel mit achsparallelen Riefen
RKV		Kreuzrändel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 - Spannfläche bei einer nicht ausreichenden Einspannkraft	10
Abbildung 2-1 - Einteilung der Verbindungen fester Körper	15
Abbildung 2-2 - Darstellung eines tribologischen Systems	18
Abbildung 2-3 - Beziehung zwischen der Reibungskraft und der Normalkraft	19
Abbildung 2-4 - Reibungsarten.....	20
Abbildung 2-5 - Grundlegende Reibungsmechanismen.....	21
Abbildung 2-6 - Fertigen eines Rändel mittels Rändelrad und Schaftfräser.....	22
Abbildung 3-1 - verwendete Rändelformen nach DIN 82	23
Abbildung 3-2 - Beanspruchte Flächen unterschiedlicher Rändelformen.....	24
Abbildung 3-3 - In den Werkstoff eingedrungene Rändelspitze	25
Abbildung 3-4 - Kraftvektoren.....	26
Abbildung 4-1 - verwendete Spannbackeneinsätze nach DIN 82	28
Abbildung 4-2 - Prüfmaschine und Versuchsaufbau	29
Abbildung 5-1 - Oberflächenprofil einer gespannten Fläche bei einem Spanndruck von a) 100 bar und b) 200 bar.....	34
Abbildung 6-1 - Vergleich des eingedrungenen Rändelprofils.....	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 - Zusammenstellung der Prüfverfahren und Prüfnormen [1]	13
Tabelle 4-1 - Vergleich von Werkstoffkennwerten verschiedener Metalle.....	27
Tabelle 5-1 - Übersicht der Versuchsergebnisse	31
Diagramm 5-1 - Spannkraft und erreichte Zugkraft über Spanndruck.....	32
Diagramm 5-2 - Reibungsbeiwert μ und μ_{gefettet} in Abhängigkeit der Spannkraft.....	33
Diagramm 5-3 - Vergleich der theoretischen und gemessenen Eindringtiefe für die Rändelung RKV	35
Diagramm 5-4 - Vergleich der erreichten Zugkräfte für die Rändelung RKV.....	36
Diagramm 5-5 - Vergleich der erreichten Zugkraft für die Rändelung RAA.....	37
Diagramm 5-6 - Vergleich der theoretischen und gemessenen Eindringtiefe für die Rändelung RAA	38

1 Einleitung

1.1 IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden

Die IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH ist ein in Dresden ansässiges Unternehmen und führt technisch-wissenschaftliche Dienst- und Forschungsleistungen auf den Gebieten der Werkstoff-, Bauteil- und Erzeugnisprüfung beziehungsweise Erzeugnisbegutachtung durch.

Sie stammt dem 1961 aus der Dresdner Flugzeugindustrie hervorgegangenen Institut für Leichtbau ab und beschäftigt heute etwa 140 Ingenieure, Facharbeiter und Techniker, die durch langjährige Erfahrungen und spezielle Fachkenntnisse eine erfolgreiche Bearbeitung komplexer Aufgaben garantieren.

Das größte Geschäftsfeld umfasst das Entwickeln von Testtechnologien und Prüfsystemen für die Verkehrstechnikbranche. Zu den Schwerpunkten zählen die Konzeption, Durchführung und Auswertung von Zertifizierungs- und Entwicklungsversuchen an Flugzeugstrukturen und Komponenten für die Luftfahrtindustrie. Weitere angebotene Leistungen sind die Festigkeitsberechnung, Schadensanalyse, Prototypenbau für Faserverbunde sowie die Langzeitüberwachung und Qualitätssicherung. Zum Kundenstamm der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden gehören verschiedene Unternehmen aus der Luftfahrt-, Schienenfahrzeug- und Automobiltechnik.

1.2 Problemstellung

Für das Bearbeiten von Halbzeugen oder die Prüfung von Bauteilen werden vorwiegend Spannsysteme mit Klemmbacken verwendet. Diese ermöglichen eine sichere Einspannung und definieren die Lage des eingespannten Gegenstandes. Das Spannen von Bauteilen erfolgt oftmals auf der Grundlage eigener Erfahrungen aus vorangegangenen Versuchen, theoretisch ermittelten Anzugsmomenten und eigener Annahmen und Einschätzungen. Demgemäß wurden die Spannkkräfte und Spanndrücke übernommen und auf andere Versuche übertragen. Teils mit positiven, aber auch mit negativem Erfolg, sprich die Bauteileinspannung versagt während der Prüfung, diese

ist somit unbrauchbar und muss wiederholt werden. Obwohl die Spannkkräfte und Spanndrücke während der Versuche niedergeschrieben werden, kommt es jedoch durch die Vielzahl an Variationen der Prüflinge zu einer unzureichenden Spannung der zu prüfenden Bauteile oder zu einem Versagen der Einspannung (Abbildung 1-1).

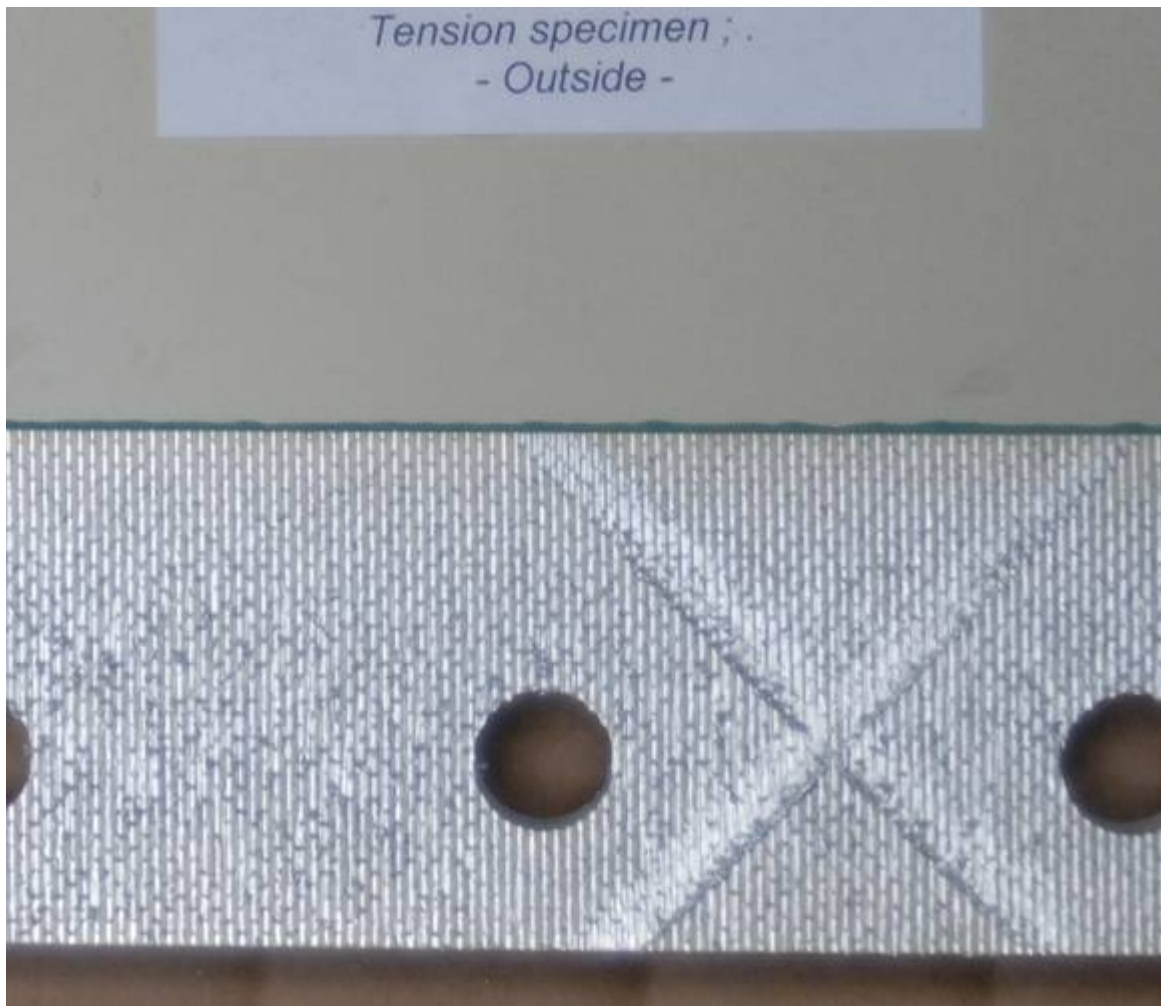


Abbildung 1-1 - Spannfläche bei einer nicht ausreichenden Einspannkraft

Für eine erfolgreiche Einspannung der Prüfkörper sind im Vorfeld eines jeden Prüfungsvorganges das Anzugdrehmoment der Spannschrauben, bei beispielsweise Keilschraubprobenhalter oder der Spanndruck bzw. die Spannkraft, das Reibungsverhalten und die zu erwartenden Kräfte und Lasten zu ermitteln und zu berücksichtigen. Weitere wichtige Punkte für das sichere Spannen von Bauteilen sind das Material, dessen mechanische Eigenschaften und die Abmessungen des zu spannenden Prüflings. Denn nicht jeder Werkstoff reagiert wie der andere. Sogar bei gleichem Werkstoff zeigen sich, durch die Herstellung bedingte Unterschiede in den Materialeigenschaften, auch wenn diese eher gering ausfallen.

1.3 Zielstellung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von Probenhaltern für Zugversuche mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen. Hierbei werden Spannflächen mit verschiedenen Rändelungen und ohne Rändelung verwendet. Ziel dieser Versuchsreihen ist die Darstellung der Spannkraft gegenüber der übertragbaren Zugkraft, bevor die Probenhalter versagen und somit die Prüfung, im realen Versuch, unbrauchbar ist und wiederholt werden muss. Hierfür werden Zugversuche mit unterschiedlichem Spanndruck und verschiedenen Oberflächenprofilen der Klemmbanken durchgeführt, ausgewertet, zusammengefasst und im Anschluss diskutiert.

1.4 Motivation und Herangehensweise

Mithilfe dieser Arbeit soll eine Systematisierung der Probenhalter mit und ohne Rändelungen erfolgen und mit deren Erkenntnissen aus den Versuchen auch auf ähnliche Prüfverfahren und Spannsysteme gleichen Prinzips Anwendung finden.

Als Grundlage für die experimentellen Untersuchungen stehen die theoretischen Überlegungen über das Reibungsverhalten der Materialpaarung Stahl-Stahl zur Verfügung. Des Weiteren kann auf Berechnungen für eine sichere Einspannung und auf erreichbare Lasten unter definierten Voraussetzungen zurückgegriffen werden.

2 Grundlagen und Stand der Technik

2.1 Werkstoff- und Bauteilprüfung

Ein wichtiges Teilgebiet der Qualitätssicherung ist die Werkstoffprüfung. Diese hat in letzter Zeit enorm an Bedeutung gewonnen, da zum einen nur qualitativ einwandfreie Produkte im globalen Wettbewerb Bestand haben und zum anderen in vielen Industriezweigen ein hohes Sicherheitsbedürfnis besteht. Um die Qualität der Erzeugnisse beizubehalten und zu verbessern ist heute kein Unternehmen konkurrenzfähig ohne diesen Teil des Qualitätsmanagement. [1]

Die Werkstoffprüfung befasst sich mit der Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen und der Ermittlung von Werkstoffeigenschaften. Durch zahlreiche Prüfverfahren werden Werkstoffkennwerte und qualitative Ergebnisse bestimmt, die es wiederum ermöglichen den Werkstoffeinsatz zu optimieren. [2]

Die Bauteilprüfung erfährt neben der Werkstoffprüfung eine immer größer werdende Bedeutung. Hier wird das komplett montierte Bauteil einer Festigkeits- und Lebensdauerprüfung unterzogen. Dieses Prüfergebnis wird wesentlich von der Materialgüte, Fertigungsqualität und der Qualität der Konstruktion beeinflusst. [1]

Für die vielfältigen Aufgaben der Werkstoffprüfung wurde eine große Zahl von Prüfverfahren entwickelt, in der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten zusammengestellt.

Tabelle 2-1 - Zusammenstellung der Prüfverfahren und Prüfnormen [1]

zerstörende oder bedingt zerstörende Werkstoffprüfungen	zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
Statische Prüfverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Härteprüfung <ul style="list-style-type: none"> ○ Brinellhärte, EN 10003 ○ Vickershärte, DIN 50133 ○ Rockwell, 10109 • Zugversuch, EN 10002 • Biegeversuch, DIN 50110 • Torsions- und Verdrehversuch • Scher-, Loch-, oder Stanzversuch Dynamische Prüfverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Kerbschlagbiegeversuch, EN 10045 • Dauerschwingversuch, DIN 50100 • Dynamische Härteprüfung <ul style="list-style-type: none"> ○ Poldihammer ○ „Equotip“ ○ Skleroskop ○ Durosokop Technologische Prüfverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Technologischer Biegeversuch, DIN EN ISO 7438 • Hin- und Herbiegeversuch, DIN 50153 • Rohrprüfung, DIN EN 10232 • Prüfung von Nieten, Schrauben ... • Prüfen von Feinblechen <ul style="list-style-type: none"> ○ Tiefungsversuch nach Erichsen, DIN 50101 ○ Tiefziehversuch (Näpfchenziehversuch, Zipfelprüfung) • Prüfen von Schweißnähten, z.B. DIN EN 875 • Korrosionsprüfungen, z.B. DIN 50900 • Verschleißprüfungen, z.B. DIN 50320 	Prüfung mit Ultraschall, DIN 54119 bis DIN 54126 <ul style="list-style-type: none"> • Durchschallungsverfahren • Impuls-Echo-Verfahren • Resonanzverfahren Durchstrahlungsprüfung <ul style="list-style-type: none"> • Röntgenprüfung , DIN 54109 bis DIN 54116 <ul style="list-style-type: none"> ○ Röntgenfilmaufnahmen ○ Durchleuchtung • Gammastrahlenprüfung Rissprüfverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Magnetpulverprüfung, DIN 54130 • Eindringverfahren, DIN 54152 <ul style="list-style-type: none"> ○ Farbeindringverfahren ○ Fluoreszenzverfahren Physikalische Prüfverfahren <ul style="list-style-type: none"> • Induktive Prüfverfahren (Wirbelstromprüfung), z.B. DIN 54140 • Magnetische Verfahren

Ein sehr häufig angewandtes Prüfverfahren zur Ermittlung der Materialeigenschaften ist der oben genannte Zugversuch nach EN 10002 mittels Universalprüfmaschinen, die ebenfalls für Druck-, Biege- und Dauerschwingversuche geeignet sind. Die aus dem Zugversuch hervorgehenden Ergebnisse lassen direkt auf die Materialeigenschaften schließen, da sowohl die Prüfverfahren als auch die Probengeometrie genormt sind und somit deren Einfluss auf das Prüfergebnis als gering einzuschätzen sind. Des Weiteren können, im Gegensatz zur Biege- und Druckprüfung, auch Proben untersucht werden die nicht formstabil sind, wie beispielsweise Fäden, Seile und Drähte. Der Prüfling kann mittels Selbstklemmung durch Keilzangenprobenhalter oder mittels pneumatisch, hydraulisch oder manuell erzeugter Spannkraft in den Probenspannköpfen gespannt werden. [3; 1]

2.2 Probenaufnahmen

Die Einspannvorrichtung für die Proben ist ausschlaggebend für das Ergebnis einer Materialprüfung, bestimmt die Qualität der Prüfung und die Leistung eines Prüfsystems. Über die Probenaufnahme wird die Wegänderung der fahrbaren Traverse in den Prüfkörper eingeleitet und die daraus resultierende Kraft auf den Kraftaufnehmer und den Lastrahmen übertragen. Aus diesem Grund müssen die Probenaufnahmen einerseits an die jeweilige Probe und andererseits an den Kraftaufnehmer und Lastrahmen angepasst werden. Des Weiteren sollte sichergestellt werden, dass:

- die Probe bis zum Probenbruch sicher und rutschfrei gehalten wird,
- die Probe nicht im Bereich der Krafteinleitung bricht,
- die Prüfkraft gleichmäßig bzw. symmetrisch über den gesamten Probenquerschnitt und die gesamte Länge verteilt wird.

Darüber hinaus muss die Probenaufnahme eine weitere Vielzahl an Anforderungen erfüllen und diese können nicht mit einer Probenaufnahme erfüllt werden. Um den oben genannten Anforderungen zu genügen müssen Probenaufnahmen weitere Kriterien hinsichtlich Material, Geometrie, Prüfverfahren erfüllen, sowie weitere Randbedingungen wie Ergonomie und Wirtschaftlichkeit für die Spannmittelwahl zu berücksichtigen. [3]

2.3 Kraftübertragung und Spannprinzipien

Das Übertragen der Wegänderung der Traverse und der Prüfkraft auf den Probekörper kann durch unterschiedliche Spannprinzipien und Verbindungen erfolgen. Für das Prinzip der Kraftübertragung kommen lediglich die Schlussarten der festen Verbindung in Frage. In der Nachfolgenden Übersicht (Abbildung 2-1) sind die unterschiedlichen Verbindungen nach ihren Freiheitsgraden und ihren Schlussarten abgebildet.

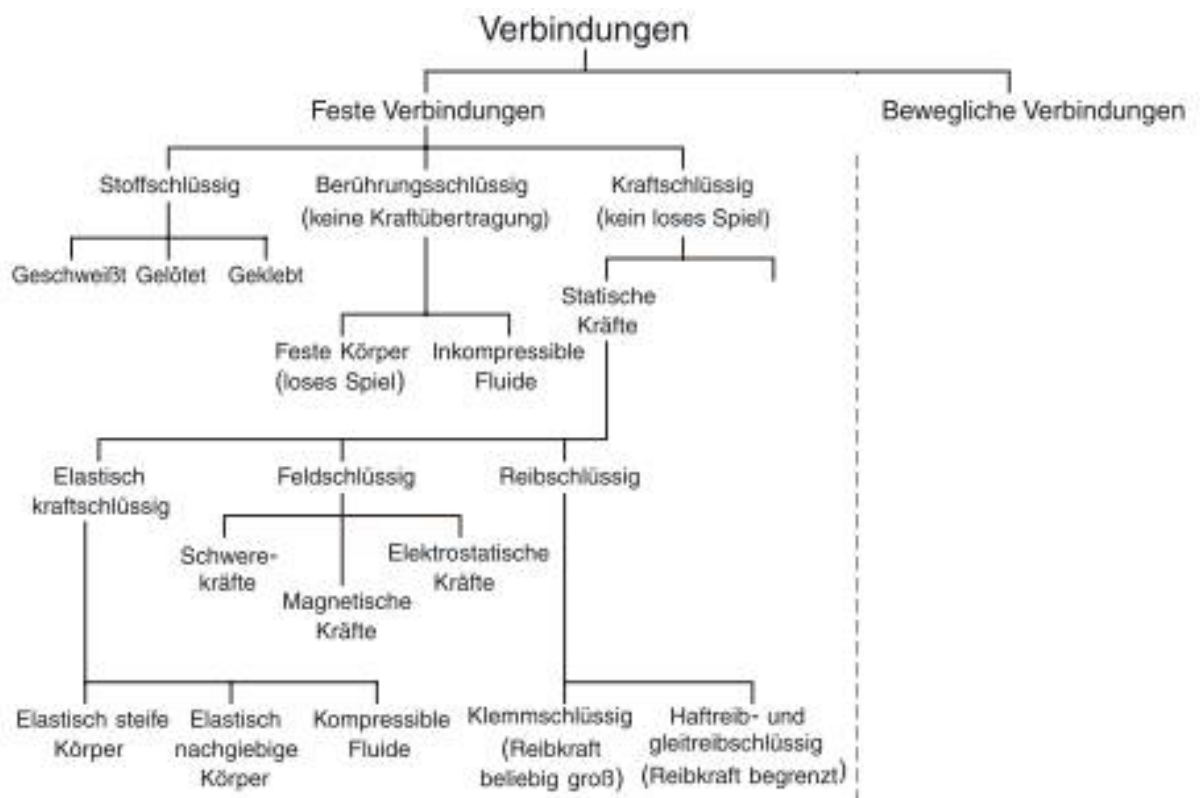


Abbildung 2-1 - Einteilung der Verbindungen fester Körper [4]

2.3.1 Stoffschluss

Der Stoffschluss ist eine mögliche Schlussart bei Fügeverbindungen, wobei eine Verbindung durch die Wechselwirkung von Kräften zwischen den zu fügenden Bauteilen hergestellt wird. Physikalische und/oder chemische Prozesse führen zu Bildung eines Stoffschlusses. Die Verbindung entsteht durch die Zugabe eines arteigenen oder artfremden Zusatzstoffes. [5, 6]

2.3.2 Formschluss (Berührungsschluss)

Verbindungen durch Formschluss entstehen durch das Ineinandergreifen von entsprechend geformten Fügeteilen, das heißt, den Gesamtschluss bestimmt kein kraftschlüssig wirkender Elementschluss, sondern nur eine geometrische Berührung. Die Kraftübertragung erfolgt erst, nachdem die Belastung normal zum Wirkflächenpaar eingeleitet wird. [4,5]

2.3.3 Kraftschluss

Verbindungen durch Kraftschluss entstehen durch die Wechselwirkung von Kräften zwischen den zu fügenden Bauteilen. Wirken Reibungskräfte, dann muss man nach *nicht klemmfähigen* und nach *klemmfähigen* Verbindungssystemen unterscheiden. Im Gegensatz zum Formschluss, steht die Wirkflächenpaarung bei dem kraftschlüssigen Spannprinzip unter Vorspannung und zwar solange bis zum Lösen der Verbindung. [4,6]

2.4 Probenaufnahmen für den Zugversuch

Trotz der zahlreichen Auswahl an Probenhaltern, liegt das Hauptaugenmerk bei den Probenspannköpfen, bei denen eine äußerer Krafteinwirkung die Spannkraft aufbringt. Aus diesem Grund scheidet die Verwendung von Keilspannelementen aus, da sich die Spannkraft mit zunehmender Zugkraft erhöht und somit die Ergebnisse nicht aussagefähig für das in der Arbeit behandelte Problem sind. Hinzu kommt, dass für sehr große Bauteile keine entsprechenden Probenhalter vorhanden sind oder angefertigt werden können, da dies zu einer Überdimensionierung der Spannmittel führen würde.

2.5 Tribologie und Reibung

„[...]Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung. Sie umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiß, einschließlich Schmierung, und schließt entsprechende Grenzflächenwechselwirkungen sowohl zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen ein. [...]“ [7]

GfT-Arbeitsblatt 7 - Tribologie

Seite 3, Absatz 2

Ein Teilgebiet der Tribologie ist die Triboforschung, welche sich mit der Erforschung tribologischer Vorgänge und Gesetzmäßigkeiten befasst.

Hierbei werden die Erscheinungen in qualitativer Hinsicht nach

- Art (charakterisiert durch die tribologische Beanspruchung)
- Form (charakterisiert durch die makroskopischen wahrnehmbaren Vorgänge, Zustände und Auswirkungen)
- Ursache (bezüglich der den zugrunde liegenden Grundprozesse)

sowie in quantitativer Hinsicht durch messtechnische Bestimmung der charakteristischen Größen, ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und bestehender Gesetzmäßigkeiten (Tribometrie) untersucht. [7]

Im Zusammenhang mit tribologischen Phänomenen sind die folgenden Angaben von besonderer Bedeutung:

- das Beanspruchungskollektiv
- Struktur des tribologischen Systems
- Energieverluste (Messgrößen: Reibungskraft, Reibungswärme, Schallabstrahlung usw.)
- Verschleiß (Materialverlust aus dem System, abgelöste Partikel)
- geometrische Verhältnisse in der Kontaktzone (Oberflächengeometrien, Kontaktflächen, Spalthöhe usw.)
- Änderung der Werkstoffe und Schmierstoffe (Zusammensetzung, Ab- und Aufbau von Oberflächenschichten, Umwandlungen) [7]

Das in Abbildung 2-2 dargestellte tribologische System kann grundlegend auf die realen Kontaktverhältnisse zwischen zwei Bauteilen angewendet werden und die mit dem System verbundene Problemstellung kann auf wenige Punkte reduziert werden. Somit ist für den Grund- und Gegenkörper vor der Auswahl der einzusetzenden Materialien zu klären, welche Oberflächenanforderungen gestellt werden, welche Relativbewegung vorliegt, welche Beanspruchungen in der Kontaktzone auftreten und welche Schädigungsmechanismen eintreten können. [8]

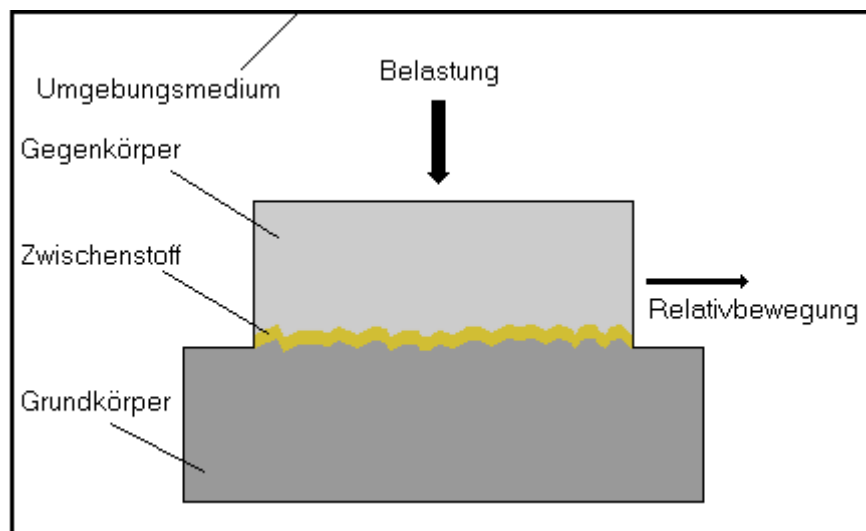


Abbildung 2-2 - Darstellung eines tribologischen Systems [10]

2.5.1 Allgemeine Betrachtung zur Reibung

„Unter Reibung bezeichnet man eine Wechselwirkung zwischen sich berührenden Stoffbereichen von Körpern. Sie wirkt einer Relativbewegung entgegen. Bei äußerer Reibung sind die sich berührenden Stoffbereiche verschiedenen Körpern, bei innerer Reibung ein und demselben Körper zugehörig.“ [7]

GfT-Arbeitsblatt 7 - Tribologie

Seite 29, Absatz 1

Die Reibung beschreibt die Kraft, die der Relativbewegung kontaktierender Körper entgegenwirkt und zum Verlust an mechanischer Energie, sowie verschleißbedingtem Materialverlusten führen. Dieser Energie- und Materialverbrauch ist oftmals unerwünscht und wird bereits bei der Dimensionierung von Maschinenelementen gefordert. Andererseits gibt es Anwendungen wo eine verstärkte Reibung erwünscht ist, wie zum Beispiel bei Bremsen, bei Reibradgetrieben oder der Selbsthemmung von

Schrauben. [8,9] Auch bei der Paarung Zugprobe-Spannbackeneinsatz treten Reibungskräfte auf, diese unterstützen zusätzlich die Spannkraft beim Klemmen des Prüflings.

Reibung kann durch eine Reihe von Kenngrößen charakterisiert werden und wird je nach Anwendungsfall durch die Reibungskraft F_R , das Reibmoment M_R oder die Reibungszahl bzw. den Reibkoeffizienten μ gekennzeichnet. Die Reibungszahl μ wird aus dem Verhältnis von Reibungskraft F_R zur Normalkraft F_N , welche senkrecht zueinander in der Berührebene stehen und proportional sind, gebildet (Abbildung 2-3).

Die Formel hierzu lautet:

$$F_R = F_N \times \mu$$

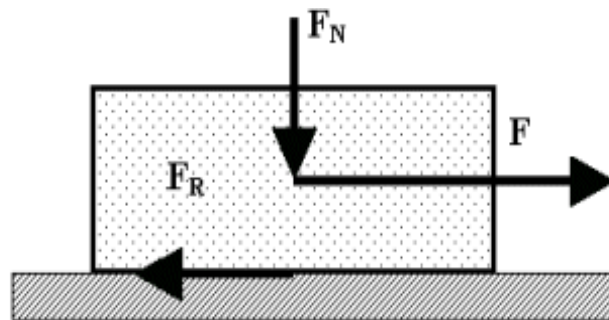


Abbildung 2-3 - Beziehung zwischen der Reibungskraft und der Normalkraft

Dieses Gesetz besagt, dass die benötigte Kraft zur Überwindung der Reibung und zur Aufrechterhaltung und zur Bewegung eines Objektes auf einem anderen abhängt von der Normalkraft zwischen den beiden Oberflächen, die sich in Kontakt befinden. [8] Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Normalkraft senkrecht auf der Ebene der Gleitfläche wirkt.

2.5.2 Reibungsarten, Reibungszustände, Reibungsmechanismen

Wird Reibung in Abhängigkeit ihrer Art der Relativbewegung der Reibkörper unterschieden, so ergeben sich verschiedene Reibarten. Es gibt drei Hauptreibungsarten. Neben den in Abbildung 2-4 dargestellten drei Hauptreibungsarten können auch Mischformen bzw. Überlagerungen auftreten. Hierzu zählen die Gleit-Rollreibung (Wälzreibung), Gleit-Bohrreibung, Roll-Bohrreibung. [11 ,12]

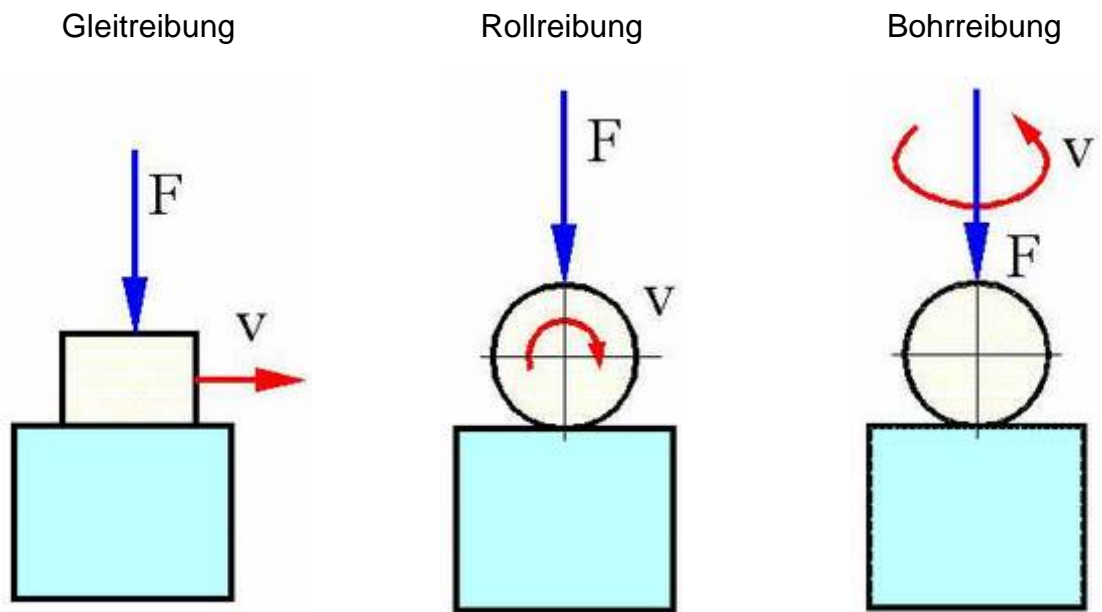


Abbildung 2-4 - Reibungsarten [13]

Neben der Unterscheidung nach der Relativbewegung der Reibkörper kann die Reibung zusätzlich nach dem Aggregatzustand der beteiligten Stoffbereiche geordnet und verschiedene Reibungszustände definiert werden. Hier sind die Festkörperreibung, die Flüssigkeits- bzw. Gasreibung und die Mischreibung zu nennen. [11, 12]

Des Weiteren werden im Allgemeinen bei der Festkörperreibung vier Reibungsmechanismen unterschieden, die auf Wechselwirkungen zwischen den Elementen zurückzuführen sind und werden wie folgt eingeteilt [11, 12] und sind in Abbildung 2-5 schematisch dargestellt:

- Scherung adhäsiver Bindung
- Plastische Deformation
- Furchung
- Hysterese bei elastischer Deformation

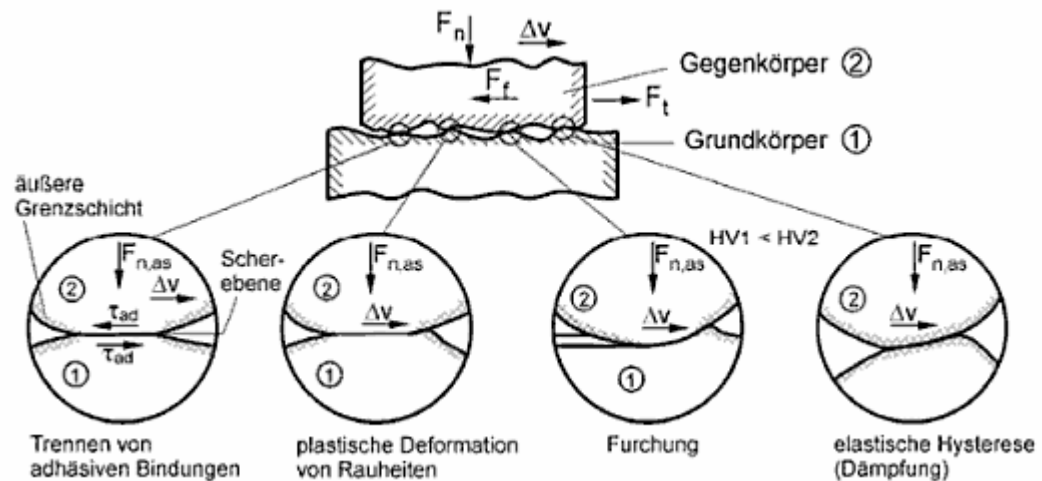


Abbildung 2-5 - Grundlegende Reibungsmechanismen [11]

2.5.3 Reibungsverhalten in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur

Nicht allein die Klemmkraft beeinflusst die Reibkraft, sondern ist auch vom Reibungskoeffizienten zwischen den Wirkflächen der Werkstoffpaarung abhängig. Zum einen reagiert jede Werkstoffpaarung anders und es sind für viele Probenhalter auswechselbare Klemmbacken oder Backeneinsätze erhältlich, die sich unter anderem in Ausführung der Klemmfläche und Form unterscheiden. Hauptaugenmerk wird hier auf die Spannflächen der Klemmbacken gelegt. Diese kann sowohl eben, als auch eine definierte Oberflächenstruktur, z.B. Rändelungen, aufweisen. Dieses Rändelprofil dringt in die Oberfläche des Probenkörpers ein und ermöglicht eine sichere Spannung bei geringerem Kraftaufwand.

2.6 Rändel nach DIN 82 und DIN 8583-5

Die Herstellung einer gerändelten Oberfläche kann sowohl spanlos, durch beispielsweise Druckumformen, als auch spanend durch Fräsen oder Hobeln erfolgen (Abbildung 2-6). Der spanlose Vorgang ist nach DIN 8583-5 unter der Ordnungsnummer 2.1.4.2.1.2 definiert und wird wie folgt beschrieben: „Eindrücken eines sich auf der Oberfläche des Werkstückes abwälzenden, mit Rändel versehenen Werkzeuges (Rändelrad) in die Oberfläche des Werkstückes.“ [14] Des Weiteren wird in der DIN 82 die Form, die Abmessungen und die einheitliche Benennung „Rändel“ für alle Ausführungen festgelegt, da die ältere Bezeichnung „Kordel“ nicht einheitlich verwendet wurde und sich somit Schwierigkeiten in der Werkzeugauswahl ergaben. [15]

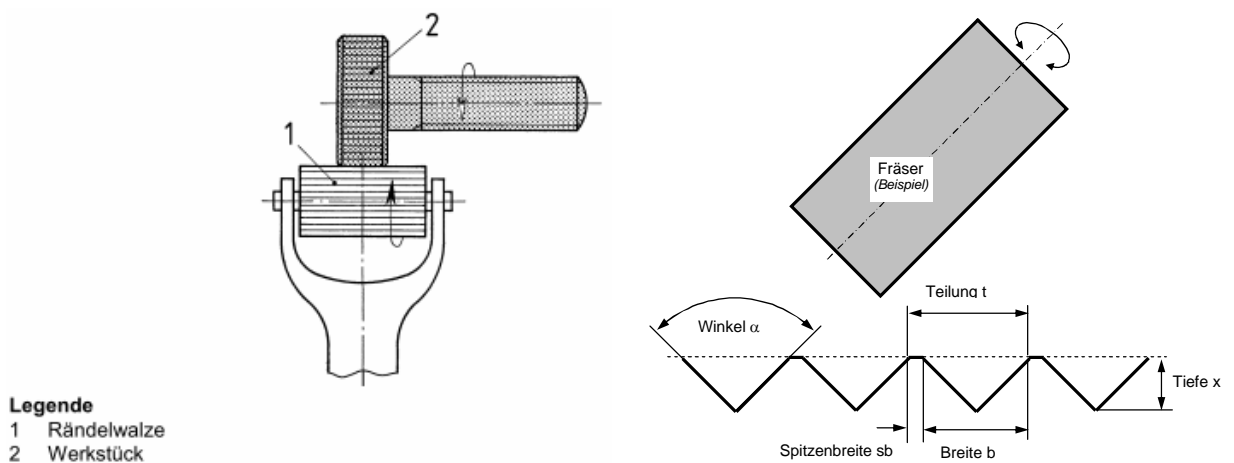


Abbildung 2-6 - Fertigen eines Rändel mittels Rändelrad [15] und Schaftfräser [IMA-intern]

3 Theoretische Erkenntnisse über das Eindringen der Rändelspitze in den Werkstoff

3.1 Ermittlung der erforderlichen Spannkraft und zulässigen Zugkraft

Da die Geometrie der jeweiligen Spannbackeneinsätze und die Anzahl der Rändelspitzen nicht variabel ist, muss die definierte Eindringtiefe über die Spannkraft erreicht und diese über die eindringende Fläche ermittelt werden, um eine sichere Einspannung zu realisieren. Durch die verschiedenen Rändelformen (Abbildung 3-1) ist vorab schon abzusehen, dass sich auch Unterschiede im Kraftaufwand ergeben, um eine vorher definierte Eindringtiefe der Rändelspitzen zu erzielen.

Rändel mit achsparallelen Riefen - RAA

Kreuzrändel, Spitzen vertieft - RKV

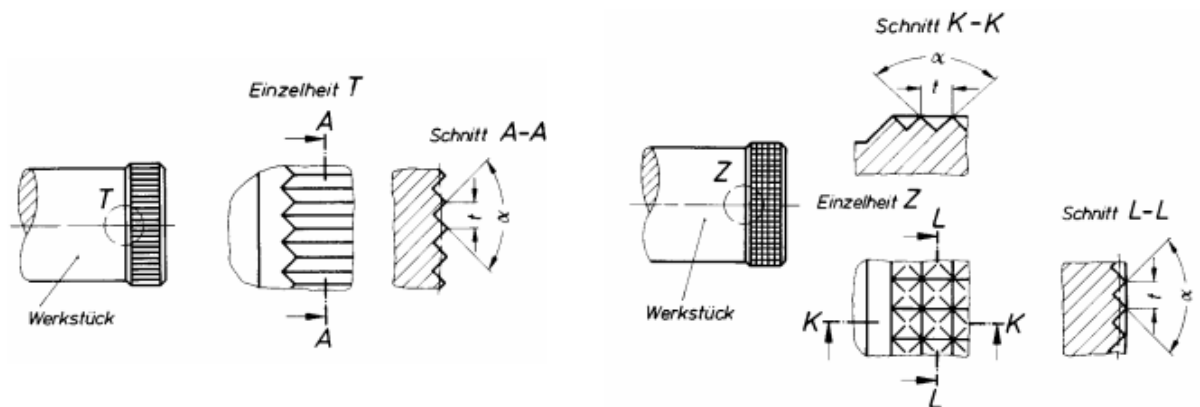


Abbildung 3-1 - verwendete Rändelformen nach DIN 82 [15]

Die Fläche der Rändelungen die in den Werkstoff eindringen, lassen sich über Dreiecksgleichungen, über die bekannte Eindringtiefe und die Teilung der Rändelung berechnen. Weitere Einflussgrößen sind die Streckgrenze des Materials der Zugprobe und die Spannfläche bzw. die Anzahl der Rändelspitzen, die in den Werkstoff eindringen.

Um eine gleiche Eindringtiefe zu erzielen ergibt sich somit, dass für eine Rändelung RAA DIN 82 gegenüber einer Rändelung RKV DIN 82, mit gleicher Teilung, eine wesentlich höhere Spannkraft aufgebracht werden muss, was auf die größere Fläche zurückzuführen ist. Im Umkehrschluss kann bei höherer Spannkraft und einer größeren Fläche eine größere Zugkraft auf die Zugprobe übertragen werden. Demgegenüber unterscheiden sich die Eindringtiefen der verschiedenen Rändelprofile bei glei-

chem Spanndruck. Die pyramidenförmigen Rändelspitzen dringen demzufolge tiefer in den Werkstoff der Probe ein und es kann eine höhere Zugkraft übertragen werden.

Abbildung 3-2 veranschaulicht die unterschiedlich beanspruchten Flächen der verschiedenen Rändelformen beim Eindringen der Rändelspitzen in den Werkstoff bei einer Eindringtiefe von 0,5 mm (hell- und dunkelgrau). Die hellgrauen Flächen zeigen die Kontaktflächen der Rändelspitzen während des Versuches beim Anlegen der Zugkraft.

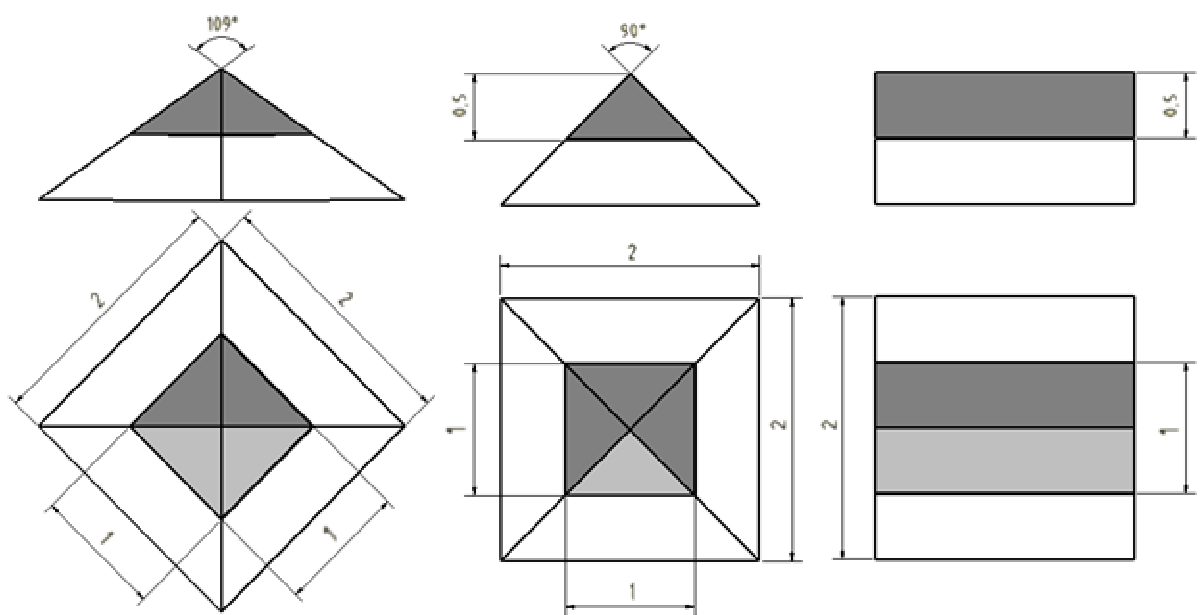


Abbildung 3-2 - Beanspruchte Flächen unterschiedlicher Rändelformen

Unabhängig von der Teilung der Rändelung ergibt sich, bei oben gezeigter Grundfläche der Profile, für die pyramidenförmigen Rändelspitzen eine Fläche von 1,4 mm² und für die prismatischen Rändelspitzen eine Fläche von 2,8 mm² die in den Probenwerkstoff bei Anlegen der Spannkraft eindringt.

Wirkt dann zusätzlich die Zugkraft, verringert sich die beanspruchte Fläche bei den beiden äußeren Profilen auf jeweils die Hälfte des eingedrungenen Profils und für das in der Mitte der Abbildung 3-2 dargestellte Rändelprofil auf ein Viertel.

3.2 Einleiten der Spannkraft

Beim Spannen der Zugprobe mittels Klemmbacken, welche eine gerändelte Spannfläche aufweisen, dringt das Profil des Probenhalters in Abhängigkeit der Spannkraft und Oberflächenstruktur in den Prüfkörper ein. Durch das Eindringen der Rändelspitzen in den Werkstoff, wird die örtliche Streckgrenze des Prüflings überschritten und der verdrängte Werkstoff wird an den Flanken der Rändelspitzen aufgeworfen (Abbildung 3-3).

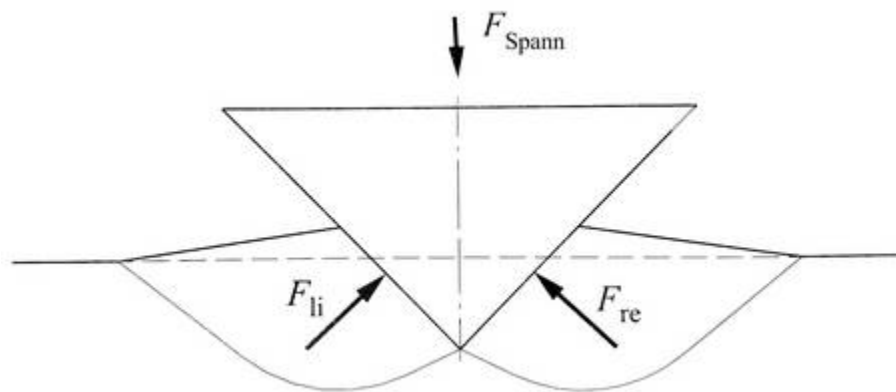


Abbildung 3-3 - In den Werkstoff eingedrungene Rändelspitze [16]

Die Klemmkraft wird hydraulisch gesteuert und es erfolgt keine Nachregelung der Spannkraft. Nach dem Anlegen der Spannkraft und dem Eindringen der Rändelspitzen, steht die Spannkraft mit den Horizontalkomponenten der erzeugten Normalkräfte im Gleichgewicht. Wird nun der Versuch gestartet und die Zugkraft eingeleitet, wird die obere Seite entlastet und die Rändelspitzen dringen tiefer in den Werkstoff ein bis sich ein neues Kräftegleichgewicht zwischen der Spannkraft und der horizontalen Kraftkomponente an der belasteten Flanke der Rändelspitze gebildet hat.

3.3 Zugkraft über Spannkraft

Die maximale Zugkraft für den Werkstoff S355 wurde über die Grundgleichung $F_R = \mu \times F_N$ ermittelt. Um den Werkstoff nicht bis in den plastischen Bereich zu belasten, wurden die Berechnungen mit einer Streckgrenze von $s = 300\text{N/mm}^2$ durchgeführt. Hierbei ergibt sich eine maximale Zugkraft von 150 kN bevor die Zugprobe plastisch belastet wird. Des Weiteren liegen den Rechnungen ein theoretischer Haftreibungswert von $\mu = 0,5$ zugrunde. Dieser Wert ergibt sich, wie auch bei der Berechnung von Lamellenkupplungen, über die Gleichung $F_R = \mu \times F_N$, zuzüglich eines Faktors aus der Anzahl der im System vorhandenen Reibflächen und das Ersetzen durch die in Abbildung 3-4 abgebildeten Kraftvektoren.

$$F_R = \mu \cdot F_N \cdot n_{RP}$$

$$F_Z = \mu \cdot F_{\text{Spann2}} \cdot n_{RP}$$

$$F_{\text{Spann2}} = \mu \cdot F_{\text{Spann2}} \cdot n_{RP}$$

$$1 = \mu \cdot n_{RP}$$

$$\mu := \frac{1}{n_{RP}}$$

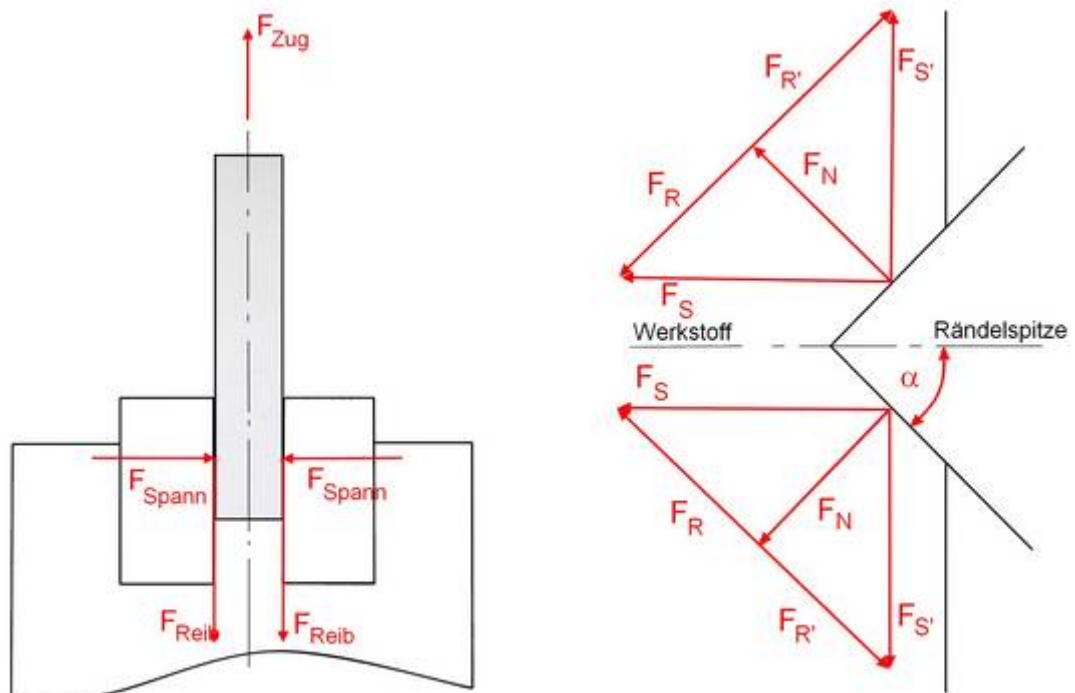


Abbildung 3-4 - Kraftvektoren

4 Experimentelle Untersuchungen

4.1 Ziel

Aufgabe der hier beschriebenen und durchgeführten Versuchsreihen besteht in der Bestimmung der übertragbaren Last von Einspannvorrichtungen an Universalprüfmaschinen bis zum Versagen der Spannkraft und somit dem Rutschen der Zugproben. So soll ein Optimum in Abhängigkeit der Prüf- und Spannlast ermittelt werden, um ein Bauteilversagen durch überhöhte Spannkräfte in der Kraft-Zone oder Versuche mit unzureichender Probenspannung zu vermeiden.

4.2 Versuchsvorbereitung und Versuchsprogramm

Gegenstand der experimentellen Untersuchungen sind Klemmbacken mit unterschiedlichen Rändelungen und Klemmbacken ohne Rändelung und Zugproben aus dem Material S355 mit den Abmaßen 200 x 50,4 x 10,4. Die Wahl des Werkstoffes fiel auf das genannte Material, da vorwiegend Bauteile aus Eisenwerkstoffen geprüft werden. Zudem weist Stahl höhere Festigkeitswerte gegenüber der in der Luftfahrt und im Automobilbau verwendeten Aluminiumlegierung EN-AW 2024 auf. Die Probenlänge ergibt sich aus dem Spannbereich der Prüfmaschine und der Bedingung, dass Ausleger an der Probe befestigt werden sollen. Die angefertigten Proben aus dem Material S355 und den Abmaßen 200 x 50,4 x 10,4 mm werden mit verschiedenen Spannkraften beaufschlagt und geprüft. Für die Untersuchung an den Spannvorrichtungen wurden 20 Zugproben gefertigt, von denen jeweils 5 Proben mit einem der vier ausgewählten Spannbackeneinsätze gespannt und auf Zug belastet werden.

	Re [N/mm²] / Rp0,2 [N/mm²]	Rm [N/mm²]	A [%]
EN AW-2024	290	425	9
S 355	355	510	22
Ti6Al4V	865	930	13
V4A	240	600	40

Tabelle 4-1 - Vergleich von Werkstoffkennwerten verschiedener Metalle



Rändel RKV 10 - 90 (45° gedreht)

Rändel RAA 10 - 90

Abbildung 4-1 - verwendete Spannbackeneinsätze nach DIN 82

Für die Ermittlung der übertragbaren Last an Einspannvorrichtungen für Prüfmaschinen wurden Klemmbackeneinsätze mit unterschiedlichen Rändelformen gefertigt (Abbildung 4-1). Hierfür wurde auf den Stahl 21MnCr5 zurückgegriffen, dieser ist neben 16MnCr5 ein für Spannelemente häufig verwendetes Material, und wurde im Anschluss an die Fertigung auf einen Wert von 60 +4 HRC gehärtet und angelassen. Hierbei griff man auf die Rändelformen RAA, Rändel mit achsparallelen Riefen, und RKV, Kreuzrändel, zurück, da diese am häufigsten für Spannmittel für Universalmaschinen Verwendung finden. Zusätzlich sind diese Rändelformen in DIN 82 zusammengefasst und können ohne größeren Aufwand gefertigt. Auf die Fertigung von Spezialformen wurde hier verzichtet, um allgemeingültige Aussagen für, unter anderem, bereits vorhandene Spannmittel zu erhalten.

Hierbei werden die Zugproben versuchstypisch in die vorgesehene Einspannvorrichtung mit den unterschiedlich gerändelten Klemmbackeneinsätzen gespannt. Die Spannung der Proben erfolgt ausschließlich über das kraftschlüssige Spannprinzip und auf einer Fläche von 50x50mm an den oberen und unteren Probenenden, wobei die Spannkraft über ein Hydraulikaggregat erzeugt wird. Zusätzlich werden unmittelbar unter und über den Einspannenden der Zugproben Ausleger angebracht, an denen während der Messung die Drähte von zwei Seilzugaufnehmern befestigt werden. Mittels der beiden Seilzugaufnehmer und über die Kurve des Kraft-Weg-Verlaufes können der Zeitpunkt des Versagens der Spannkraft und das Rutschen der Zugprobe bestimmt werden. (Abbildung 4-2)



Abbildung 4-2 - Prüfmaschine und Versuchsaufbau

4.3 Versuchsdurchführung

Für die erste Versuchsreihe, zur Ermittlung der auf die Probe übertragbaren Zugkraft, kamen Spannbackenaufsätze ohne Rändelung zum Einsatz. Realisiert wurde dies, indem Bleche zwischen die Probe und die gerändelten Spannbackeneinsätze gelegt wurden, um eine rändelfreie Spannfläche zu erzeugen. Hierbei wurde das obere Bauteilende mit gerändelten und das untere Bauteilende mit ungerändelten Spannbackenaufsätzen gespannt, dadurch wurde die Einspannung hinsichtlich ihres Versagens und dem Rutschen der Probe definiert.

Vor Versuchsbeginn erfolgte das Einstellen der Parameter an der Messeinrichtung bezüglich Messrate, Verfahrensgeschwindigkeit des Kolben mittels Rampenzeit, sowie der maximalen Zug- und Druckkräfte um Kollisionen und Beschädigungen der Maschine zu vermeiden. Die Proben wurden mittig und 50 mm mit der ungerändelten bzw. 25 mm bei gerändelten Spannflächen gespannt. Zusätzlich wurden die Kabel der auf dem Maschinentisch befestigten Seilzugaufnahme mit den an der Probe befestigten Hebel verbunden. Nach Starten des Versuchsprogramms konnte der Verlauf der Kraft-Weg-Kurve auf dem Bildschirm des Messcomputers verfolgt und somit

entsprechend reagiert werden, wenn ein Versagen der Spannkraft eintritt oder die zulässige Zugkraft erreicht wurde. Bei Versagen der Spannkraft zeigte sich zu erst ein leichter Abfall der Zugkraft, welche im weiteren Verlauf annähernd konstant verlief.

Dieser Versuchsablauf erfolgte analog für die Durchführung mit den unterschiedlich gerändelten Spannbackenaufsätzen. Hierbei wurden die Proben auf einer Fläche von 30 mm x 50 mm gespannt. Des Weiteren wurde eine geforderte Eindringtiefe von 0,5 mm außer Acht gelassen. Hierfür wurden im Anschluss an die Versuche Messungen des Oberflächenprofils der Spannfläche an den Proben durchgeführt und mit theoretisch ermittelten Werten verglichen.

5 Versuchsauswertung

5.1 Versuchsauswertung

In nachfolgender Tabelle 5-1 ist eine Übersicht der Versuchsdurchführung. Die Spannkraft wurde aus dem eingestellten Spanndruck und der Kolbenfläche berechnet. Die theoretischen Werte wurden vor den Messungen ermittelt und mit denen, während des Versuches ermittelten Werten gegenübergestellt.

Tabelle 5-1 - Übersicht der Versuchsergebnisse

Probe	Spannkraft [kN] berechnet	Spanndruck [MPa]	Flächenpressung [N/mm²]	Rändelung		Form	Zugkraft [kN]	μ	
				Eindringtiefe					
				theoretisch	erreicht		erreicht		
1	146,1	100,6	58,44	-	-	ungerändert	trocken	70,17	0,24
2	182,0	125,3	72,80	-	-			124,42	0,34
3	218,6	150,5	87,44	-	-		103,60	0,24	
4	250,7	172,5	100,28	-	-		157,30	0,31	
5	288,0	198,5	115,20	-	-		141,70	0,25	
6	144,5	99,4	57,80	-	-		142,46	0,49	
7	181	124,6	72,40	-	-		83,88	0,23	
8	217,9	149,9	87,16	-	-		74,16	0,17	
9	255,9	176,1	102,36	-	-		96,97	0,19	
10	294,8	202,9	117,92	-	-		101,77	0,17	
6	145,6	100,2	97,06	0,29	0,19	RKV 45°		175,44	-
7	181,7	125,0	121,12	0,32	0,19			172,51	-
8	216,2	148,8	144,11	0,35	0,23			178,59	-
9	256,4	176,5	170,94	0,38	0,20			195,24	-
10	280,1	192,7	186,71	0,4	0,26			225,36	-
11	70,2	48,3	46,80	0,2	0,12			153,90	1,10
12	110,5	76,1	73,67	0,25	0,18	RAA		170,46	-
13	147,3	101,4	58,93	0,1	0,06			168,15	-
14	110,4	76,0	44,16	0,08	0,04			134,83	-
15	74,0	50,9	29,58	0,05	0,03			158,61	1,07

5.1.1 Versuche mit ungerändelten Spannflächen

Aus der Versuchsauswertung ergab sich hier für die trockene Reibpaarung ein Maximum der Zugkraft, bei einem Spanndruck von 172 bar bzw. einer Spannkraft von 250 kN mit 157 kN und für die Versuche mit gefetteten Spannflächen ergab sich ein Maximum der Zugkraft bei 203 bar bzw. 295 kN mit 101 kN, bevor die Spannkraft nicht mehr ausreichte und es so zum Versagen der Bauteileinspannung kam.

Das nachfolgende Diagramm 5-1 zeigt die Erhöhung der erreichten Zugkraft bei steigender Spannkraft für beide Versuchsreihen mit ungerändelten Spannflächen. Das stetige Steigen der Zugkraft wird durch einen Abfall dieser unterbrochen, an dem die Bauteileinspannung versagt und somit das Halten der Probe nicht mehr gewährleistet wird und der Versuch muss nach einem erneuten Spannen der Probe wiederholt werden.

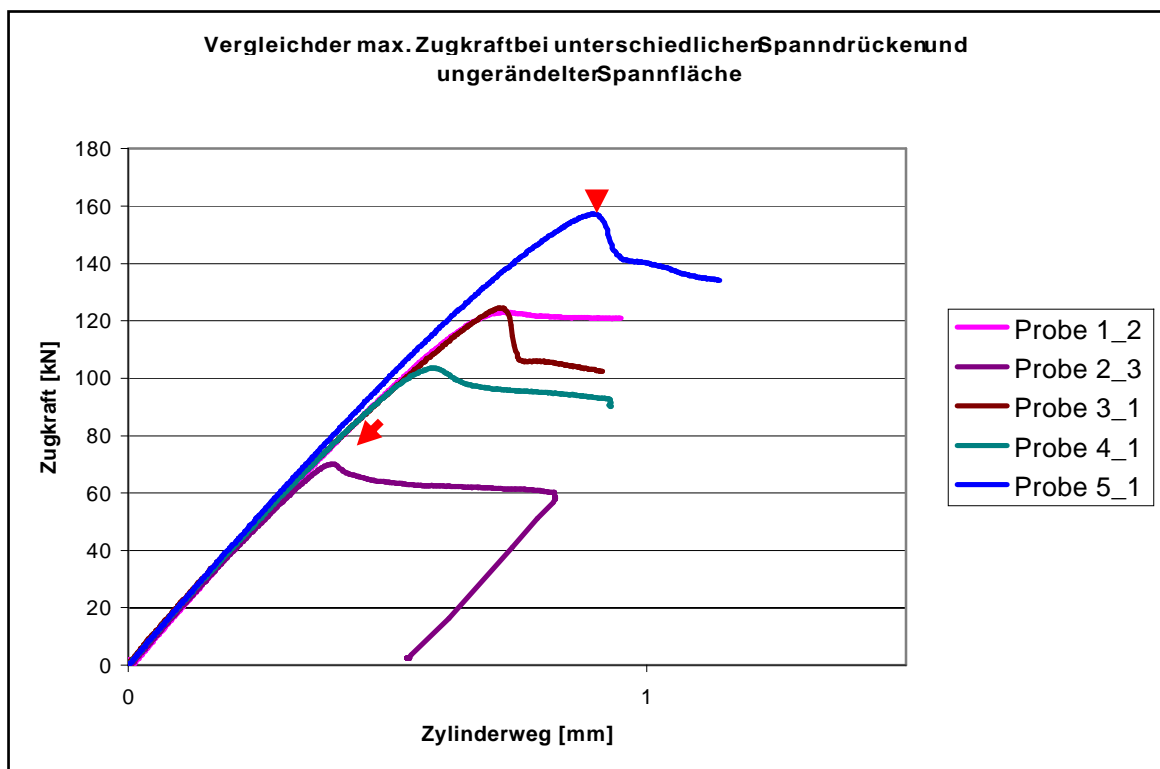


Diagramm 5-1 - Spannkraft und erreichte Zugkraft über Spanndruck

Die mittels Zugkraft und Spannkraft ermittelten Reibungskoeffizienten μ der Materialpaarung Stahl-Stahl trocken, erreichen einen Wert zwischen ca. 0,24 und ca. 0,34. Diese Werte spiegeln die erwartete Größe des Reibungskoeffizienten für ungerändelte Spannbackeneinsätze wieder und sind im nachfolgenden Diagramm 5-2 dargestellt.

Nachfolgend zu den Versuchen im trockenen Zustand der Reibpaarung, wurden die Spannflächen mit Fett geschmiert und die Versuchsreihe erneut durchgeführt. Der hier ermittelte Reibungskoeffizient μ_{gefettet} ist ebenfalls im nachstehendem Diagramm 5-2 dargestellt. Die hier gewonnenen Reibungsbeiwerte, im gefetteten Zustand der Werkstoffpaarung, liegen mit einem Wert von ca. 0,17 bis ca. 0,23 erwartungsgemäß unterhalb der Reibungswerte für eine trockene Werkstoffpaarung, und im oberen Bereich der üblichen, aus Lehrbüchern bekannten Werten. Diese erhöhten Reibungsbeiwerte resultieren aus dem hohen Spanndruck, der die Schmier-schicht fast vollständig zwischen den Oberflächen verdrängt und somit eine Form der Mischreibung entsteht und die höheren Reibwerte hervorruft.

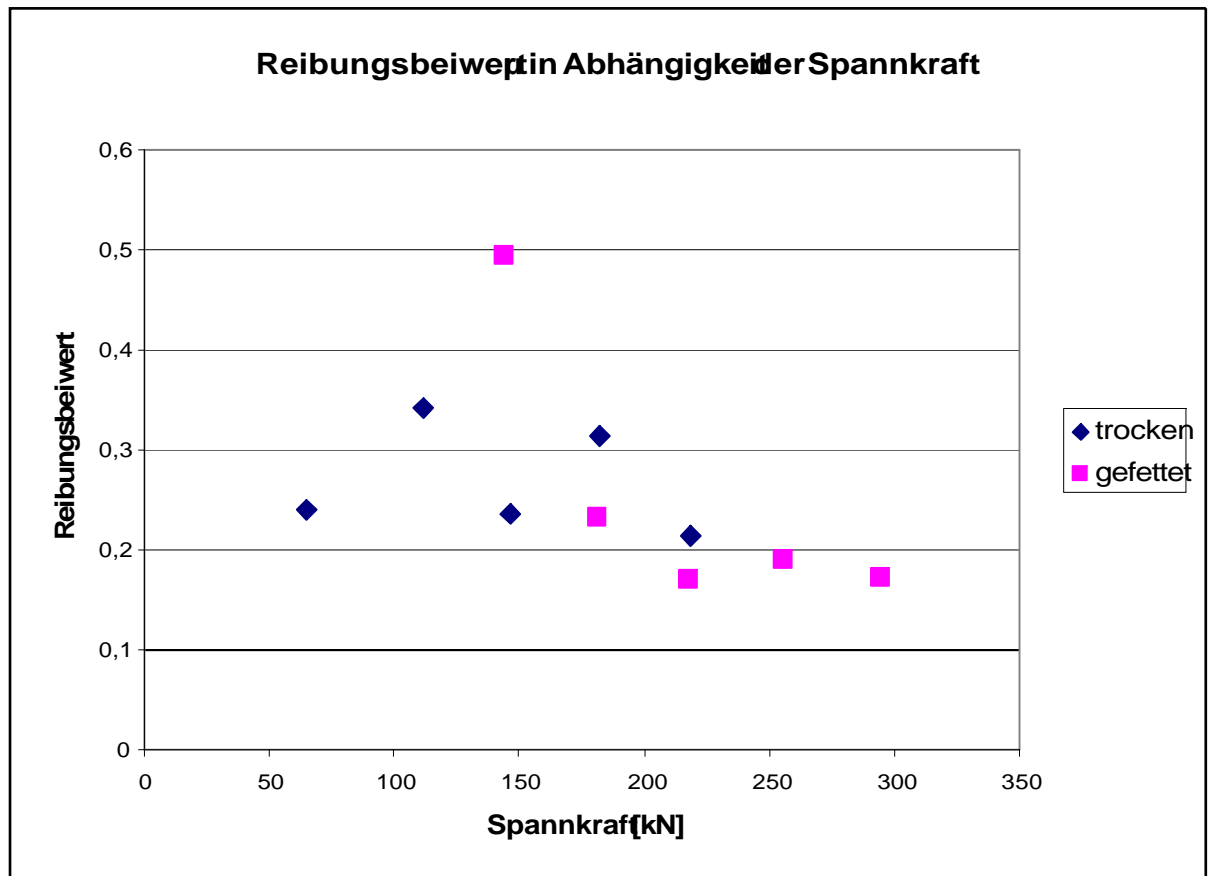


Diagramm 5-2 - Reibungsbeiwert μ und μ_{gefettet} in Abhängigkeit der Spannkraft

5.1.2 Versuche mit gerändelten Spannflächen

5.1.2.1 Spannfläche mit Rändelung RKV 10 - 90 DIN 82, 45° zur Zugrichtung

Bereits durch optische Auswertung der Proben Spannflächen nach den ersten Versuchen, zeigte sich ein deutlicher Unterschied der Eindringtiefe bei unterschiedlichem Spanndruck. Zudem war ein ersichtlicher Unterschied des eingedrückten Rändelprofils in den Probenwerkstoff bei niedrigem Spanndruck erkennbar. Beispiel hierfür zeigt Abbildung 5-1 a, bei einem Spanndruck von 100 bar zeichnet sich deutlich eine abwechselnde Eindringtiefe der Rändelspitzen auf der Probenoberfläche ab. Mit steigendem Spanndruck gleicht sich die Eindringtiefe der Rändelung an und erfolgt gleichmäßig, wie in Abbildung 5-1b zusehen ist. Das unterschiedliche Eindringen ist jedoch nicht auf das Profil des Spannbackenaufsatzes zurückzuführen. Das Profil weist eine gleichmäßige Höhe der Rändelspitzen auf, die durch Oberflächenmessung mittels Tastschnittverfahren bestätigt wurde. Eine Ursache für die Erscheinung der unterschiedlichen Eindringtiefen, auf einer Probe, kann durch das Bearbeitungsmuster während der Fertigung der Proben und den daraus entstandenen Fräsrillen gefunden werden. Oberflächenmessungen vor der Durchführung der Testreihen, in Zugrichtung, zeigten bereits ein wiederkehrendes Muster aufgrund der Fräsrillen.

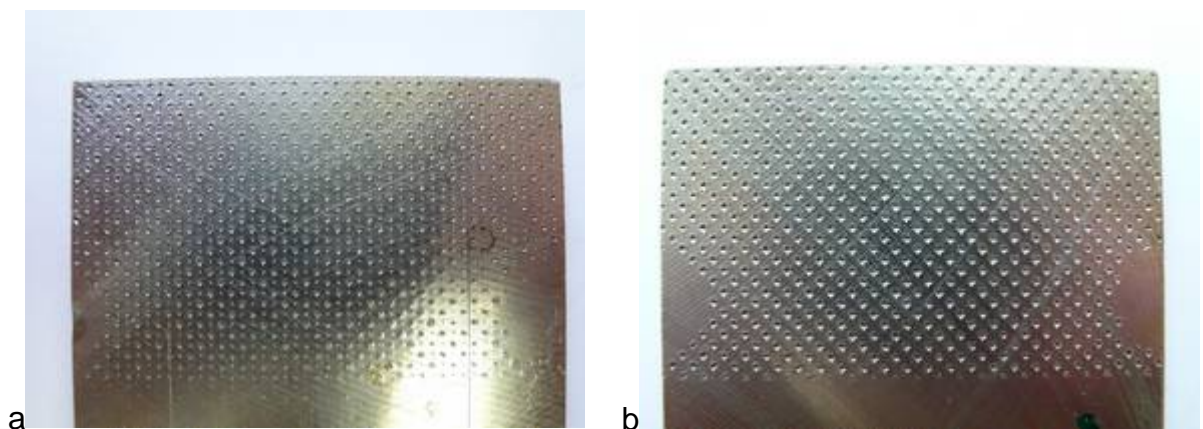


Abbildung 5-1 - Oberflächenprofil einer gespannten Fläche bei einem Spanndruck von a) 100 bar und b) 200 bar

Durch Messungen mittels Tastschnittgerät Perthometer Konzept 7.2 der Firma Mahr mehrerer nebeneinander liegender, diagonal verlaufender Reihen des Oberflächenprofils der einzelnen Proben wurden Mittelwerte gebildet und diese zusammen mit der theoretisch berechneten Eindringtiefe in Diagramm 5-3 gegenüber gestellt. Hier

wird auch der Unterschied der theoretischen Eindringtiefe gegenüber der ausgemessenen Eindringtiefe deutlich. Bei der Berechnung der theoretischen Eindringtiefe, wurde jedoch nicht nach plastischen und elastischen Anteil des Probenmaterials unterschieden. Dennoch kann ein Faktor von $\frac{2}{3}$ angenommen werden, um dieses vereinfachte Ergebnis an die gemessenen Werte anzunähern.

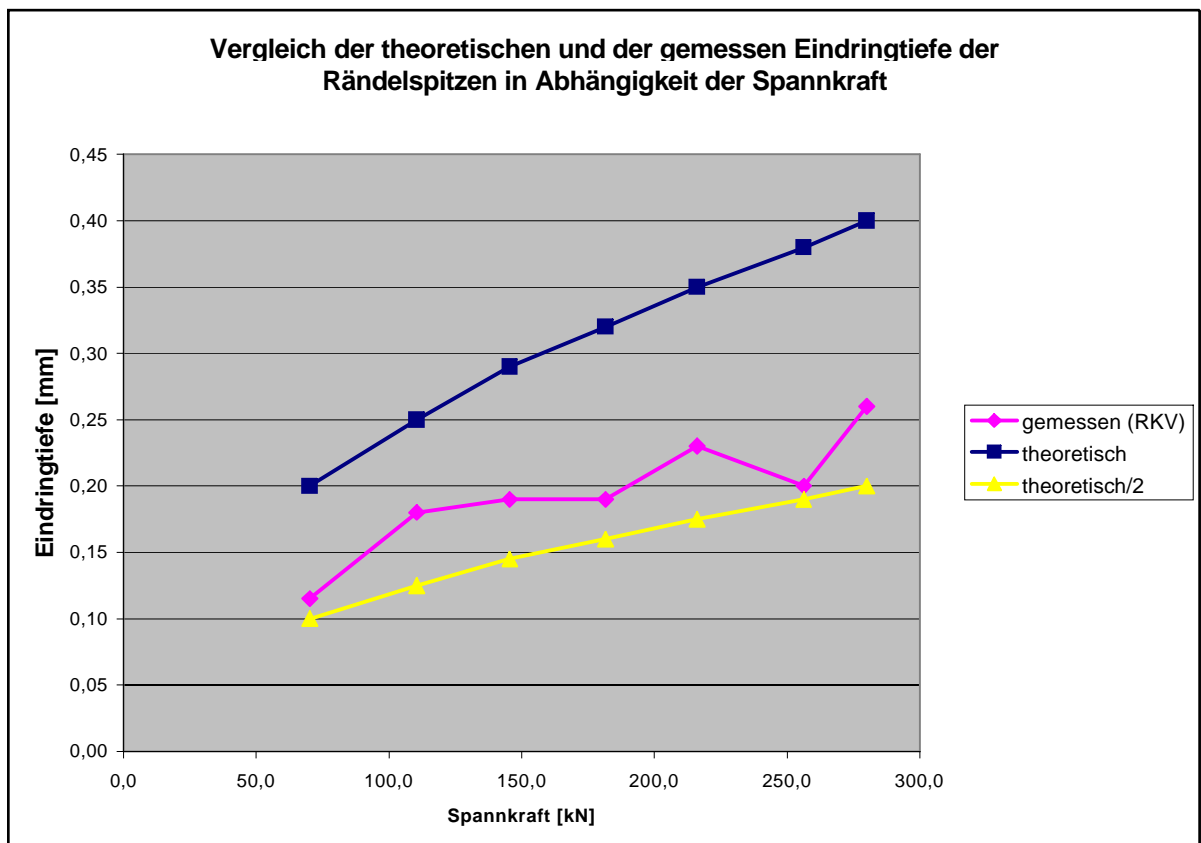


Diagramm 5-3 - Vergleich der theoretischen und gemessenen Eindringtiefe für die Rändelung RKV

Die im Diagramm 5-4 gezeigten Zugkräfte für die Proben 6 - 10 überschritten die zulässige Höchstkraft für den verwendeten Probenwerkstoff. Dies bedeutet zugleich, dass ein Rutschen der Proben nicht erfolgte und die Einspannung versuchssicher gehalten hat. Daraufhin wurden die Proben 11 und 12 mit einem Spanndruck von 50 bar bzw. 75 bar untersucht. Die Einspannung mit einem Spanndruck von 75 bar hat ebenfalls der Belastung standgehalten und musste durch Überschreiten der zulässigen Kraft für den Probenwerkstoff beendet werden. Einzig bei dem Versuch mit einem Spanndruck von 50 bar kam es zu einem Rutschen der Probe bei einer Zugkraft von 154 kN. Die Einspannung versagte hörbar. Für die Ermittlung des Spannbeiwertes μ_{Spann} liegt demzufolge nur ein Wert dieser Versuchsreihe zugrunde.

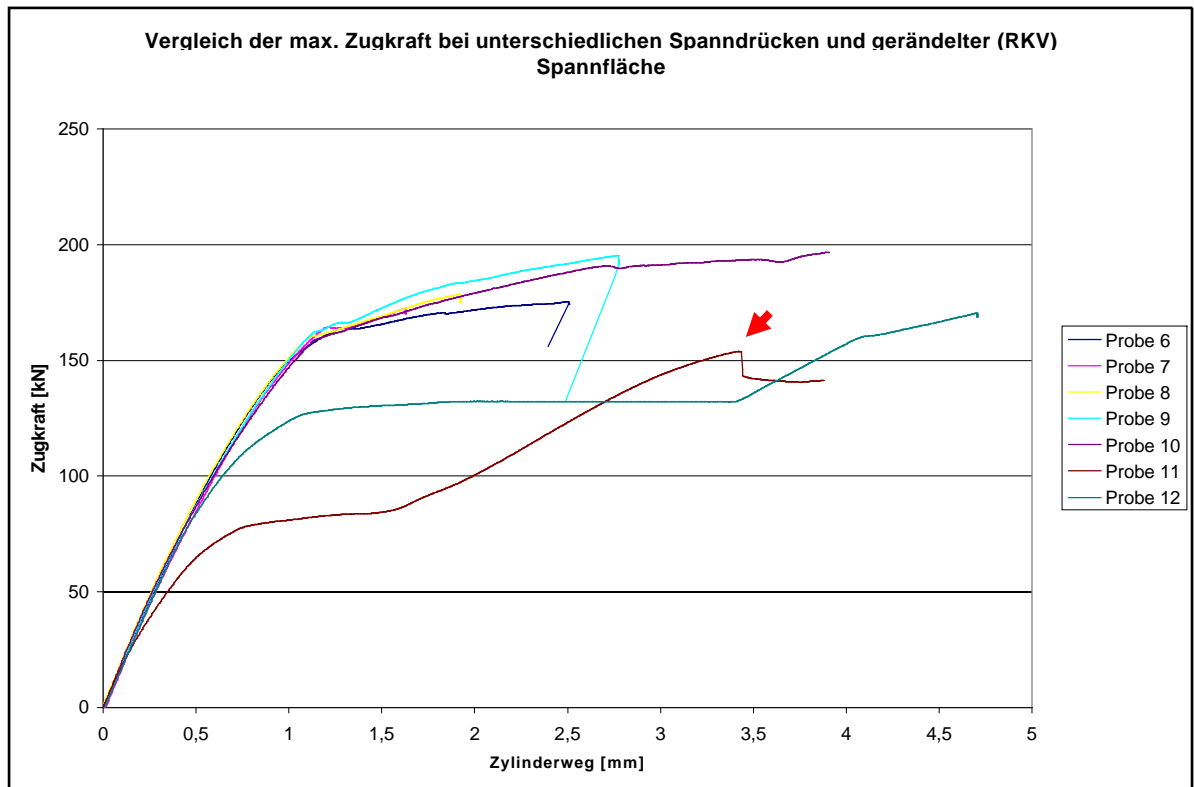


Diagramm 5-4 - Vergleich der erreichten Zugkräfte für die Rändelung RKV

Bei Probe 11, an der markierten Stelle, ist deutlich ein kleiner Abfall der Zugkraft zu erkennen. In dem Punkt wurde die Haftreibung überschritten und für das Überwinden der Gleitreibung ist nun eine geringe Kraft von Nöten. Aus dieser Kraftkurve und der Spannkraft von 70 kN ergibt sich für die Versuchsreihe mit der Rändelung RKV ein Spannbeiwert von $\mu_{\text{Spann}} = 1,1$.

5.1.2.2 Spannfläche mit Rändelung RAA 10 DIN 82

Da bereits die Materialgrenzen während der Versuchsreihe mit den Rändelungen RKV erreicht wurden, wurden die Spannbereiche für diese Versuchsreihe herabgesetzt. Der Spanndruck wurde in einem Bereich von 50 bar bis 100 bar festgelegt. Für Versuche mit den Spanndrücken von 75 bar und 100 bar erfolgte gleich der Versuche mit der Rändelung RKV, es kam nicht zu einem Rutschen der Proben, bzw. die Einspannung versagte nicht. Bei der Bauteileinspannung mit einem Spanndruck von 50 bar, versagte diese bei einer Zugkraft von ca. 158 kN. Auch hier war der Zeitpunkt des Rutschens hörbar. Das Fortschreiten des Versuches zeigt einen deutlichen Abfall der Zugkraft und im weiteren Verlauf eine Senkung dieser. Diagramm 5-5 stellt die Verringerung der Zugkraft aufgrund der versagten Einspannung dar.

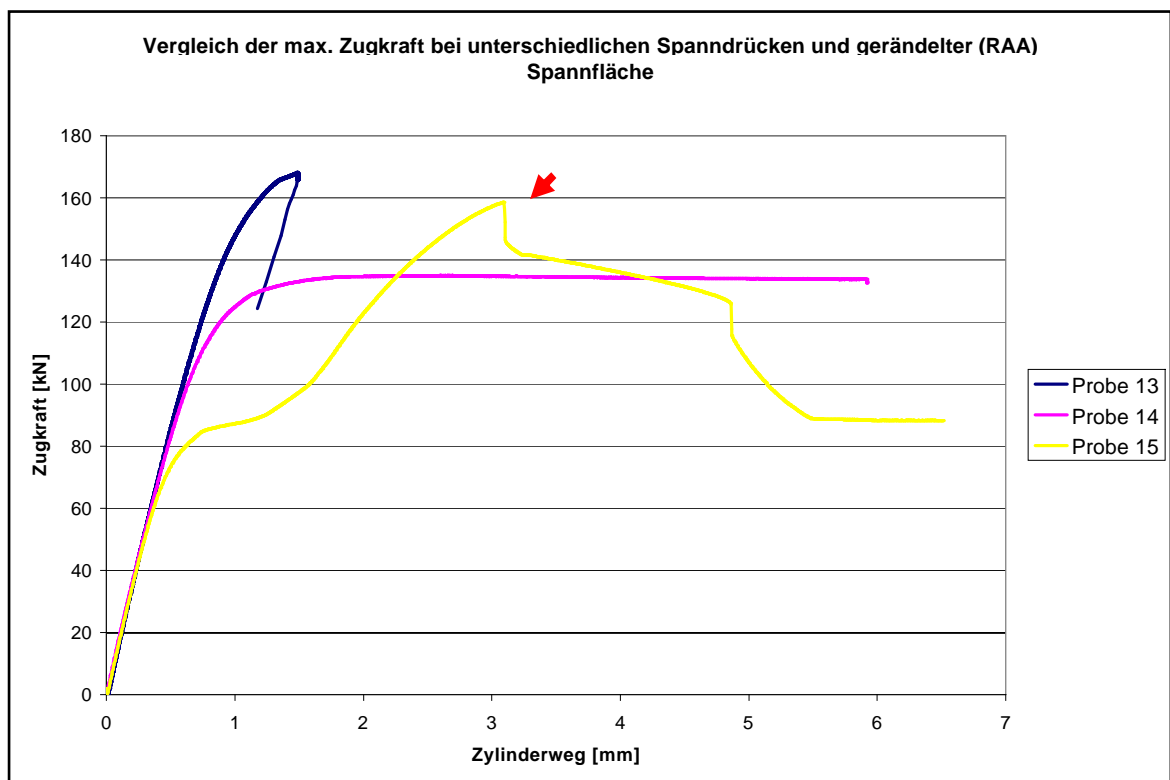


Diagramm 5-5 - Vergleich der erreichten Zugkraft für die Rändelung RAA

Wie für die vorangegangene Versuchsreihe konnte auch hier der Spannbeiwert lediglich durch einen Wert ermittelt werden. Für die Rändelung RAA ergibt sich bei einer Spannkraft von 74 kN ein Spannbeiwert von $\mu_{\text{Spann}} = 1,07$. Diagramm 5-6 zeigt den Vergleich der tatsächlichen Eindringtiefe für die Rändelung RAA nach dem Vermessen mit dem Tastschnittgerät Perthometer Konzept 7.2 und den theoretisch berechneten Eindringtiefen. Das Ausgleichen der plastischen und elastischen Verformung erfolgt hier ebenfalls annähernd mit dem Faktor $2/3$.

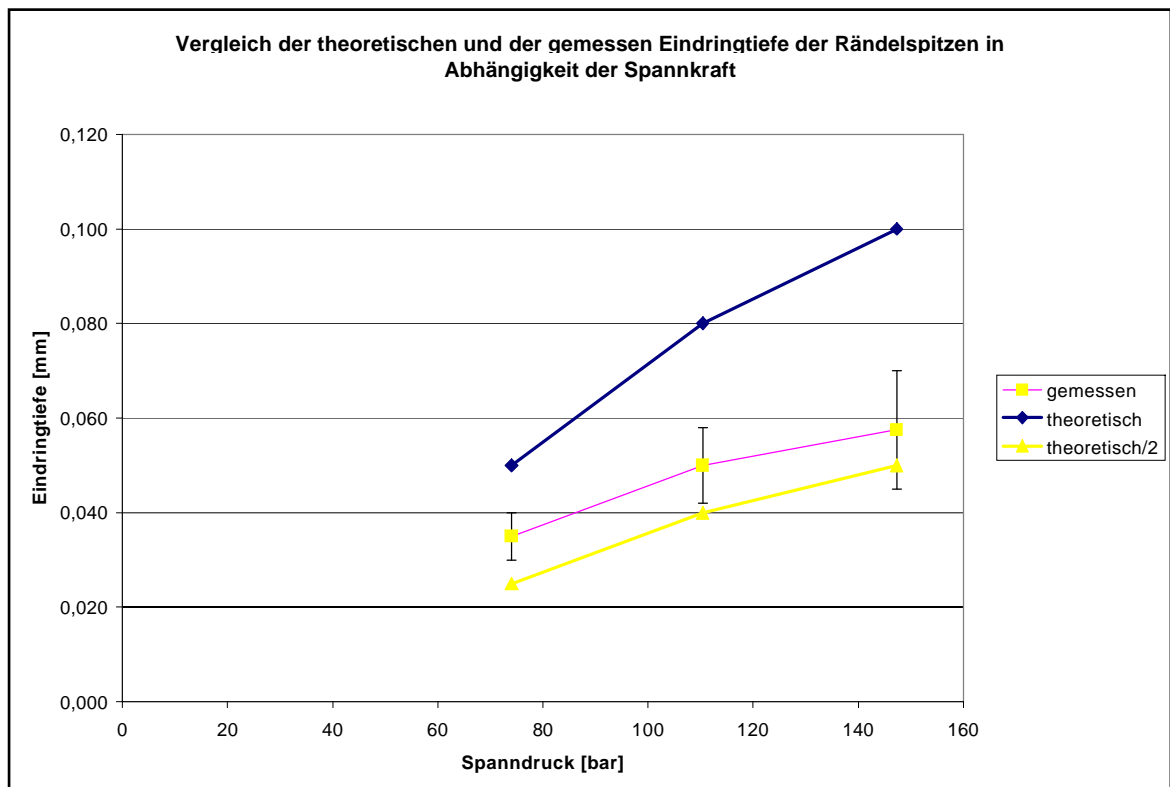


Diagramm 5-6 - Vergleich der theoretischen und gemessenen Eindringtiefe für die Rändelung RAA

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die übertragbaren Zugkräfte in Abhängigkeit der Spannkraft und des Oberflächenprofils der Spannbackeneinsätze mittels statischer Bauteilprüfung untersucht. Gegenstand der Untersuchungen waren Zugproben aus dem Werkstoff S355 sowie gerändelte und ungerändelte Spannbackenaufsätze. Die ermittelten Reibungs- und Spannwerte werden hier zusammengefasst.

Die untersuchten Spannbackeneinsätze zeigen deutliche Unterschiede in ihren Ergebnissen. Die Versuche mit ungerändelten Spannbackeneinsätzen ergab einen Reibungsbeiwert von $\mu = 0,24 - 0,35$ im trockenen Zustand und für die Werkstoffpaarung Stahl - Stahl im gefetteten Zustand einen Reibungswert von $\mu_{\text{gefettet}} = 0,17 - 0,23$. Die ermittelten Werte spiegeln den Reibungsbeiwert aus den Lehr- und Tabellenbüchern wieder und bestätigen somit diese. Zusätzlich ist hier zu erkennen, dass, trotz einer gewissen Streuung der Ergebnisse, der Reibwert μ annähernd konstant und somit unabhängig von der Spannkraft ist.

Die beiden Rändelformen RAA und RKV unterscheiden sich anhand der Versuche nur gering in der erreichten Spannkraft. Bei gleichem Spanndruck wurden für beide Rändelungen ähnliche Werte, hinsichtlich der übertragbaren Zugkraft erzielt. Die Spannbeiwerte für die Versuchsreihen mit den gerändelten Spannbackeneinsätzen konnten nur über jeweils einen Versuch ermittelt. Da die auftretenden Zugkräfte die Materialfestigkeit bei höherem Spanndruck überstiegen. Für die Berechnung der Auslegung von Spannkraften für nachfolgende Versuche sind diese dennoch sehr nützlich, da bisher keinerlei solche Werte ermittelt wurden. Für die Rändelungen RAA und RKV ergeben sich ein Spannbeiwert von $\mu_{\text{Spann RAA}} = 1,07$ und $\mu_{\text{Spann RKV}} = 1,1$.

Unterschied zwischen beiden zeigt sich in der unterschiedlichen Eindringtiefe der verschiedenen Rändelungen. Unter Verwendung der Rändelung RAA werden bei gleichem Spanndruck niedrigere Eindringtiefen, bei ähnlichen übertragbaren Zugkräften, gegenüber der Rändelung RKV erreicht. (Abbildung 6-1)

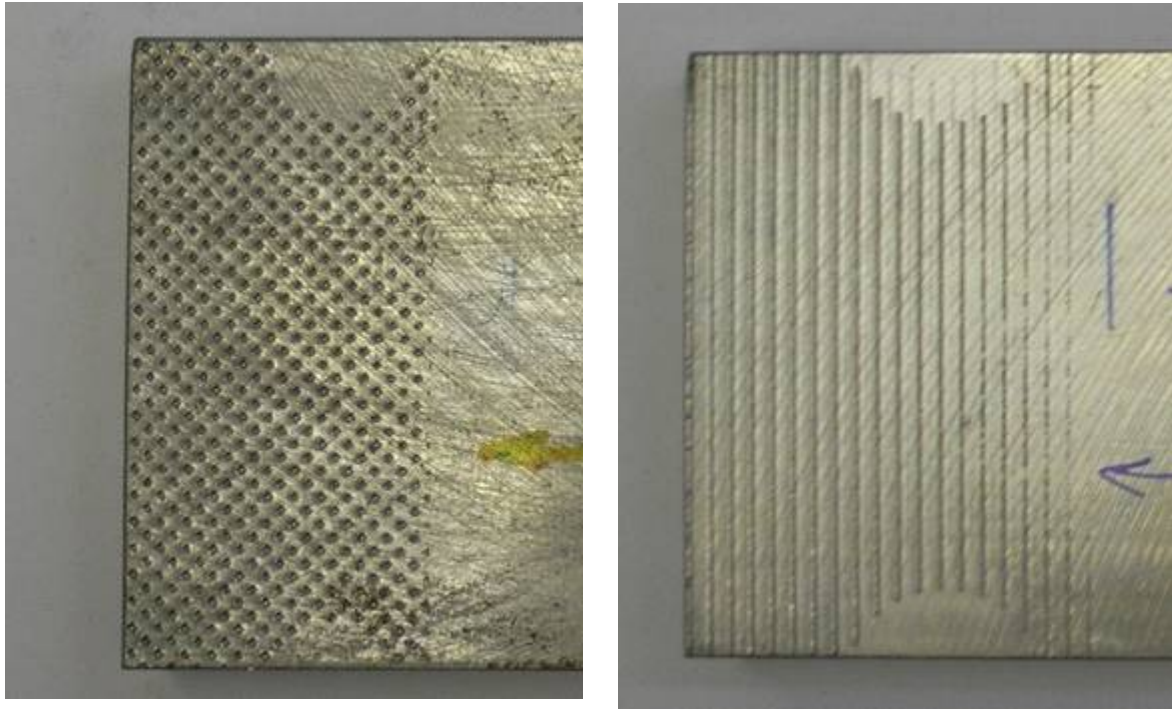


Abbildung 6-1 - Vergleich des eingedrungenen Rändelprofils

Bei der Bauteilprüfung durch Zugversuche handelt es sich um eine zerstörende Bauteilprüfung und da ist der Einfluss der eingedrungenen Rändelspitzen von geringer Bedeutung. Da bei gleichem Spanndruck die Eindringtiefen für die Rändelung RKV um das dreifache höher ist gegenüber der Rändelung RAA ist darauf zu schließen, dass Probenhalter mit einer Kreuzrändelung eine höhere versuchssicher Einspannung realisieren.

6.2 Ausblick

Die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der erhaltenen Spannbeiwerte liefern einen weiteren Bestand für die sichere Einspannung von Bauteilen in Prüfmaschinen mit gerändelten Spannelementen. Durch die Einbeziehung dieser Werte kann der Versuchsaufbau besser vorbereitet und eine genauere Abschätzung der erwarteten Ergebnisse getroffen werden. Zu beachten ist, dass diese Werte jedoch nur für den Gebrauch für die Werkstoffpaarung Stahl-Stahl Verwendung findet.

Da für jeden Spanndruck und Rändelart nur ein Prüfling zur Verfügung stand, ist es von großer Bedeutung diese Untersuchungen weiterzuführen, um weitere aussagekräftige Werte zu erzielen oder die aus den Versuchen hervorgegangen Spannbeiwerte zu bestätigen. Wichtig für nachfolgende Untersuchungen ist eine hinreichende Anzahl an Proben für den jeweiligen Spanndruck und die dazugehörige Rändelart, um das Ergebnis mit mehreren Werten zu festigen.

Neben künftigen Versuchsreihen zu der Materialpaarung Stahl-Stahl, ist es ebenfalls von Vorteil diese Untersuchungen auf andere Materialien, wie zum Beispiel Aluminium-Stahl, auszuweiten und dementsprechend für diese ebenfalls nutzbare Spannbeiwerte zu ermitteln.

7 Literatur

- [1] Gobrecht, Jürgen: Werkstofftechnik - Metalle. - 2. Auflage. - München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2006
- [2] Seidel, Wolfgang: Werkstofftechnik. 7. Auflage. München: Hanser Verlag, 2007
- [3] Zwick Produkt-Information. Probenhalter für Materialprüfmaschinen
- [4] Norm VDI 2232. Methodische Auswahl fester Verbindungen - Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen. 2004
- [5] Wagenführer, André. Taschenbuch der Holztechnik. Leipzig. Hanser Verlag. 2008
- [6] Matthes, Klaus-Jürgen. Fügetechnik - Überblick, Löten, Kleben, Fügen durch Umformen. München. Hanser Verlag. 2003
- [7] Norm GfT Arbeitsblatt 7. Tribologie - Definition, Begriffe, Prüfung
- [8] Wittel, Herbert: Jannasch, Dieter: Muhs, Dieter: Roloff/Matek Maschinenelemente - Normung, Berechnung, Gestaltung. Wiesbaden. Vieweg + Teubner Verlag. 2009
- [9] <http://www.keramverband.de/keramik/pdf/00/2000kap5.pdf> (04/2010)
- [10] <http://www.bs-wiki.de/mediawiki/images/Tribologie.gif> (05/2010)
- [11] Sauer, Bernd: Steinhilper, Waldemar. Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 - Grundlagen von Maschinenelemente für Antriebsaufgaben. 5. Auflage. Berlin. Springer-Verlag. 2005
- [12] Rieg, Frank: Taschenbuch der Maschinenelemente. Leipzig. Hanser-Verlag. 2006
- [13] www.hbs-troeller.de/Reibungsarten.jpg (05/2010)
- [14] Norm DIN 8583-5. Fertigungsverfahren Druckumformen Teil 5 - Eindrücken. 2003
- [15] Norm DIN 82. Rändel. 1973
- [16] Mahn, Uwe: Erweiterung der Einsatzgrenzen beim Spannen hochbelasteter, langgestreckter Werkstücke. - 2005. Chemnitz, Technische Universität, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation, 2005

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter der Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, 28. September 2010

Becker, Daniel

8 Anlagen

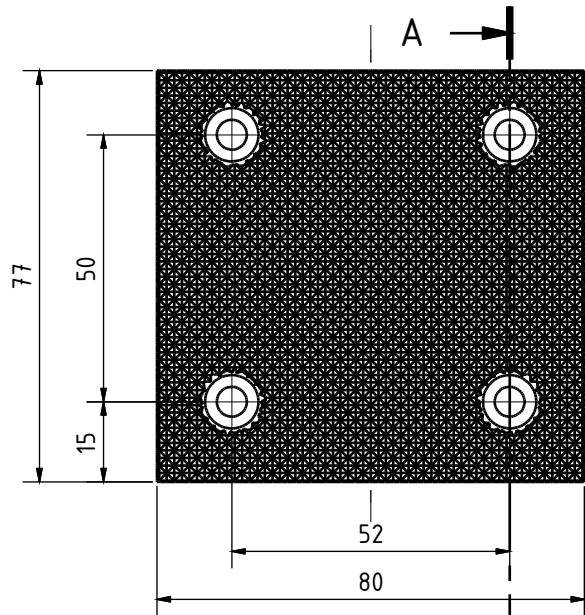
A Zeichnungen der gefertigten Spannbackenaufsätze

Klemmbackenaufsatz RKV 10 DIN 82 (45°) - i01

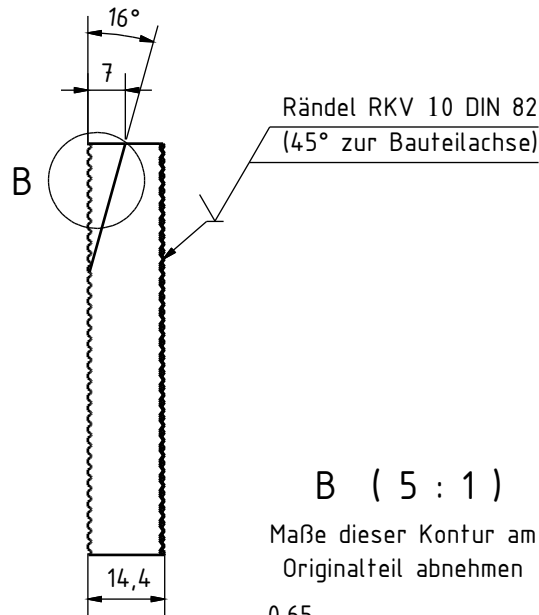
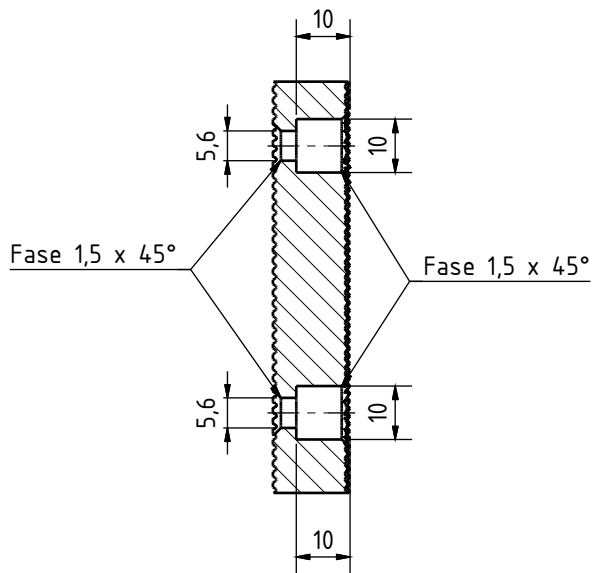
Klemmbackenaufsatz RAA 10 DIN 82 - i01

Außerhalb der mit Vertragspartnern vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist eine Vervielfältigung, Verwertung und Weitergabe dieser Unterlagen, sowie Mitteilung ihres Inhalts an Dritte, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Zustimmung der IMA GmbH Dresden gestattet. Alle Rechte vorbehalten.

With the exception of the contractual usage rights agreed with the contract partners, the reproduction use and transmission of this document and passing on of the contents to third parties, even in abstract form, is only allowed with the prior permission in writing of IMA GmbH Dresden. All rights reserved.

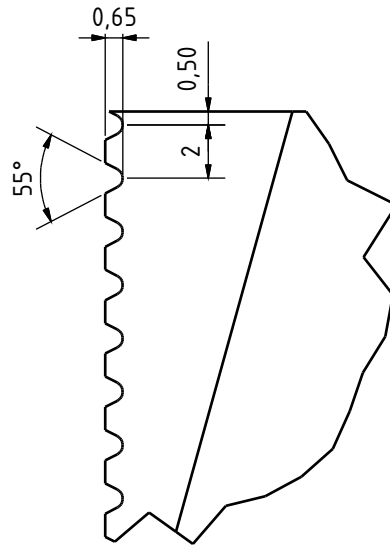


A-A (1 : 1)

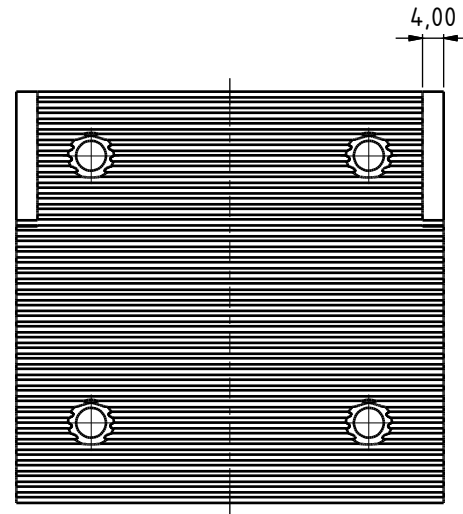
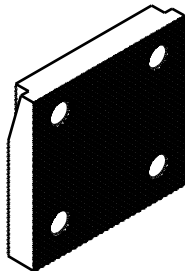


B (5 : 1)


Maße dieser Kontur am Originalteil abnehmen



(1 : 2)

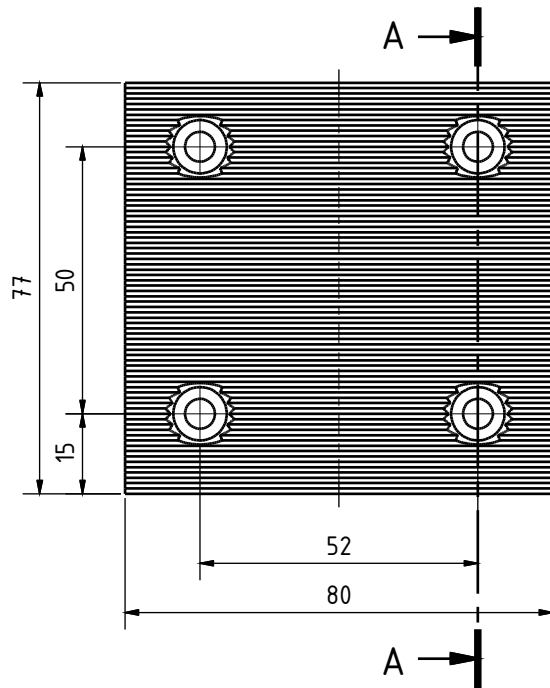


einsatzgehärtet
und angelassen
60 +4 HRC
Eht = 0,8 + 0,4

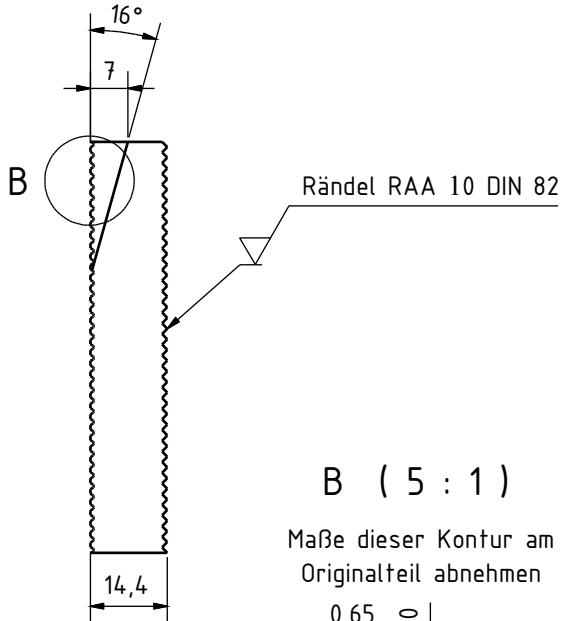
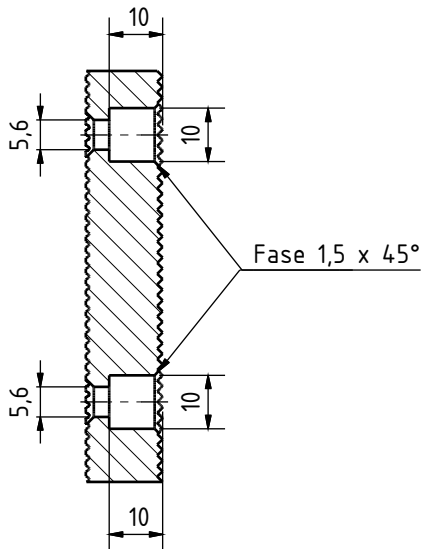
revision record			tolerance		surface DIN ISO 1302		scale 1:1		weight 0,62 kg		
			ISO2768- m		Rz12,5		material 21MnCr5		 quantity pieces 4		
			drawn	15.06.2010	Becker		part name Klemmbackenaufsatz RKV 20 DIN 82 (45°) - i01ipt Klemmbackenaufsatz RKV 20 DIN 82 (45°) - i01idw				
			controlled				Klemmbackenaufsatz RKV 10 DIN 82 (45°) - i01				
			passed								
						drawing no.				issue 01	
						304138004-000-003				page/ pages 1/1	
						[project no.]				format A3	
						project					
date	name	modification									

Außerhalb der mit Vertragspartnern vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte ist eine Vervielfältigung, Verwertung und Weitergabe dieser Unterlagen, sowie Mitteilung ihres Inhalts an Dritte, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Zustimmung der IMA GmbH Dresden gestattet. Alle Rechte vorbehalten.

With the exception of the contractual usage rights agreed with the contract partners, the reproduction use and transmission of this document and passing on of the contents to third parties, even in abstract form, is only allowed with the prior permission in writing of IMA GmbH Dresden. All rights reserved.



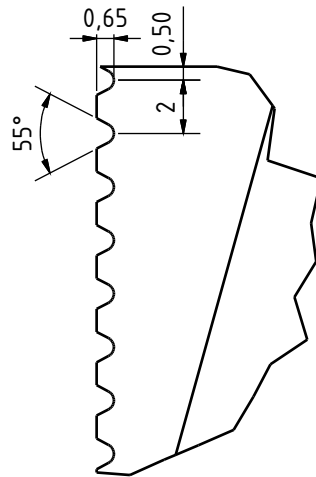
A-A (1 : 1)



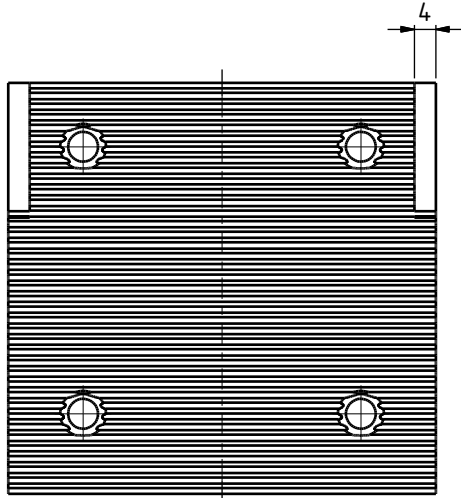
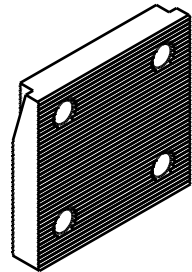
Rändel RAA 10 DIN 82

B (5 : 1)

Maße dieser Kontur am Originalteil abnehmen



(1 : 2)



einsatzgehärtet
und angelassen
60 +4 HRC
Eht = 0,8 + 0,4

revision record			tolerance	surface	scale	weight
			ISO2768- m	DIN ISO 1302 Rz12,5	1:1	0,62 kg
			drawn	date	name	material
			controlled	15.06.2010	Becker	21MnCr5
			passed			
			part name			
			Klemmbackenaufsatz RAA 20 DIN 82 - i01			
			Klemmbackenaufsatz RAA 20 DIN 82 - i01.dwg			
			Klemmbackenaufsatz RAA			
			10 DIN 82 - i01			
			drawing no.			issue
			304138004-000-001			01
			{project no.}			page/
			project			pages
						1/1
						format
						A3

**B Berechnungen der theoretischen Eindringtiefe unter zu Hilfenahme der
Software MathCAD**

Berechnung der theoretischen Eindringtiefe für die Rändelung RKV 10 - 90 DIN82

Berechnung der theoretischen Eindringtiefe für die Rändelung RAA 10 - 90 DIN82

Berechnung der theoretischen Eindringtiefe für die Rändelung RKV.

Da die Anzahl der eindringenden Rändelspitzen der Rändelung RKV und RKV 45° gleich sind, gilt diese Rechnung für beide.

$$F_{S_{\text{ges}}} := 280 \text{ kN}$$

Gesamtspannkraft aus den Versuchen

$$\alpha := 45 \text{ deg}$$

halber Spitzenwinkel über die Pyramidenflächen

$$n := 625$$

Anzahl der eingedrungenen Rändelspitzen

$$\sigma := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Festigkeit des Probenwerkstoff S355

$$F_S := \frac{F_{S_{\text{ges}}}}{n}$$

$$F_S = 448 \cdot \text{N}$$

Spannkraft für eine Rändelspitze

$$F_N := F_S \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_N = 317 \text{ N}$$

$$A_{\text{ges}} := \frac{F_N}{\sigma}$$

$$A_{\text{ges}} = 0.892 \cdot \text{mm}^2$$

eingedrungenen Gesamtläche einer Rändelspitze

$$A_{\text{einzel}} := \frac{A_{\text{ges}}}{4}$$

$$A_{\text{einzel}} = 0.223 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{einzel}} = \frac{b \cdot h_s}{2}$$

$$h_s = \frac{b}{2 \sin(\alpha)}$$

$$A_{\text{einzel}} = \frac{b^2}{4 \cdot \sin(\alpha)}$$

$$b := \sqrt{A_{\text{einzel}} \cdot 4 \sin(\alpha)}$$

$$b = 0.794 \cdot \text{mm}$$

$$h := \frac{b}{2}$$

$$h = 0.4 \cdot \text{mm}$$

Eindringtiefe

Berechnung der theoretischen Eindringtiefe für die Rändelung RAA 10 - 90 DIN 82.

$$F_{S_{ges}} := 147 \text{ kN}$$

$$\alpha := 45 \text{ deg}$$

$$n := 20$$

$$\sigma := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l := 50 \text{ mm}$$

Breite der eingedrungenen Rändelriefe

$$F_S := \frac{F_{S_{ges}}}{n}$$

$$F_S = 7.4 \cdot \text{kN}$$

$$F_N := F_S \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_N = 5.2 \cdot \text{kN}$$

$$A_{ges} := \frac{F_N}{\sigma}$$

$$A_{ges} = 14.64 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{einzel}} := \frac{A_{ges}}{2}$$

$$A_{\text{einzel}} = 7.32 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{einzel}} = l \cdot h_s$$

$$h_s = \frac{b}{2 \sin(\alpha)}$$

$$A_{\text{einzel}} = \frac{l \cdot b}{2 \cdot \sin(\alpha)}$$

$$b := \frac{A_{\text{einzel}} \cdot 2 \sin(\alpha)}{l}$$

$$b = 0.207 \cdot \text{mm}$$

$$h := \frac{b}{2}$$

$$h = 0.1 \cdot \text{mm}$$

C Oberflächenmessungen der Probe 2 vor und nach dem Versuch

Perthometer Concept 7.21

Messprotokoll



Objekt: Probe 2	1: LS 0,0 μm
Nummer:	1: LT 5,60 mm
Prüfer: Kadner	1: LM 4,00 mm
Datum, Zeit: 07.06.2010, 10:23	1: Z 5
Bemerkung:	1: VB $\pm 250,0 \mu\text{m}$
Taster: MFW-250 -30	Tastspitzenradius: 2 μm

Profil (1/3): R [LC GS 0,80 mm]

0,80 mm/Skt 4,00 mm

Profil (2/3): R [LC GS 0,80 mm]

0,80 mm/Skt 4,00 mm

Profil (3/3): R [LC GS 0,80 mm]

0,80 mm/Skt 4,00 mm

	1	2	3	\bar{X}	S	Min	Max	R	
Ra	0,88	0,82	0,90	0,87	0,04	0,82	0,90	0,08	μm
Rz	4,85	4,98	5,71	5,18	0,46	4,85	5,71	0,86	μm
Rt	5,40	6,84	6,55	6,26	0,76	5,40	6,84	1,44	μm
Pt	6,00	7,18	7,25	6,81	0,70	6,00	7,25	1,25	μm

Unterschrift:

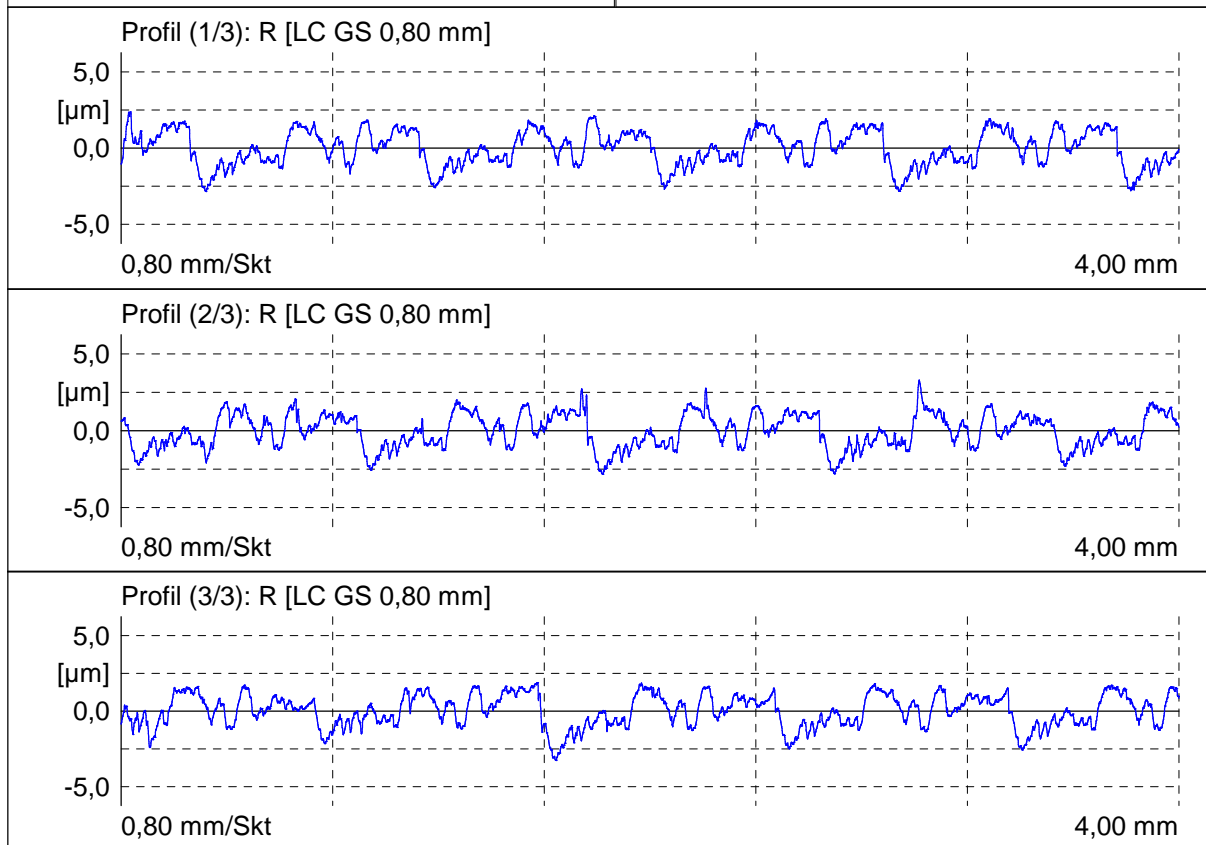
Kadner

Perthometer Concept 7.21

Messprotokoll



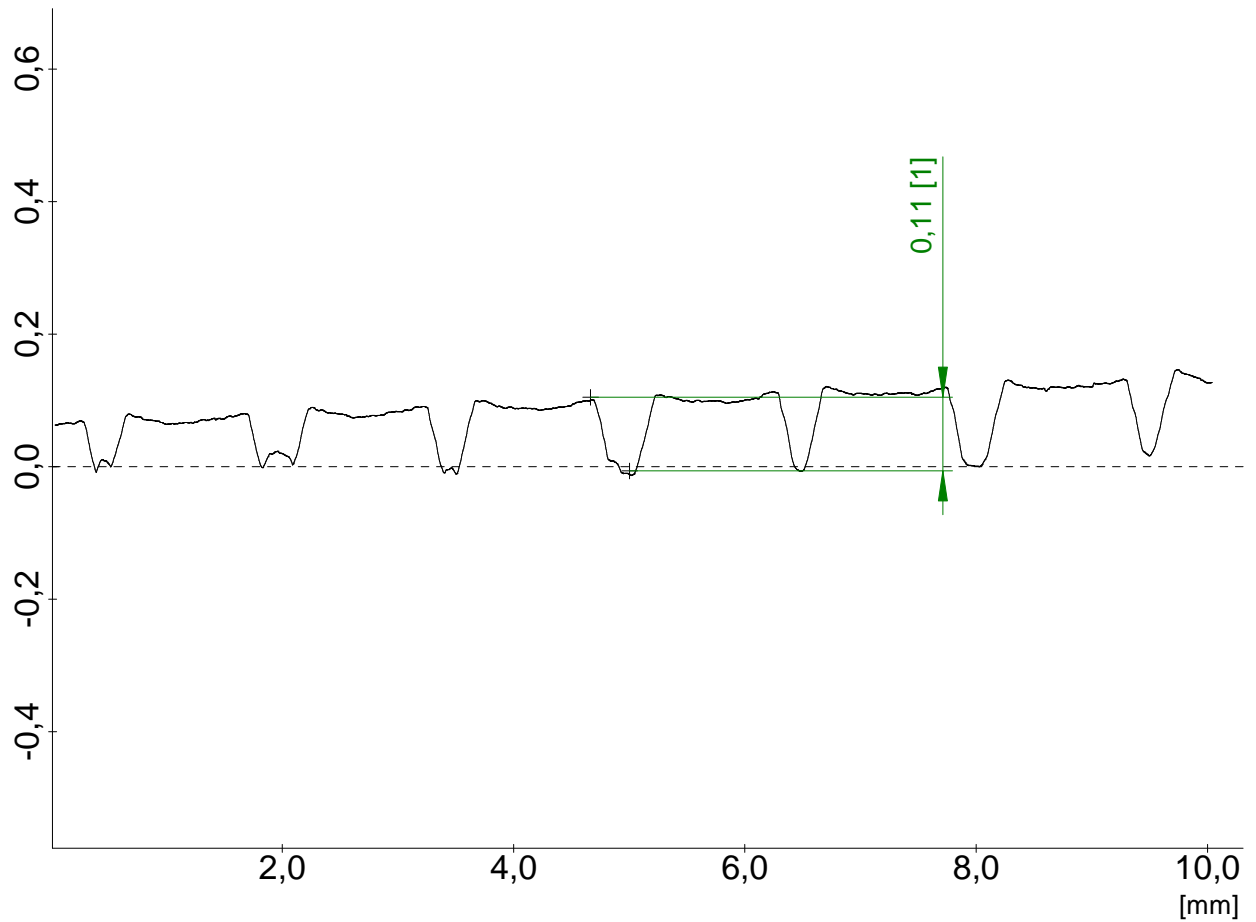
Objekt:	Probe 2	1: LS	0,0	µm
Nummer:		1: LT	5,60	mm
Prüfer:	Kadner	1: LM	4,00	mm
Datum, Zeit:	07.06.2010, 10:25	1: Z	5	
Bemerkung:		1: VB	±250,0	µm
Taster:	MFW-250 -30	Tastspitzenradius:	2 µm	



	1	2	3	\bar{X}	S	Min	Max	R	
Ra	0,97	0,94	0,89	0,93	0,04	0,89	0,97	0,08	µm
Rz	4,78	4,95	4,26	4,66	0,36	4,26	4,95	0,69	µm
Rt	5,21	6,13	5,14	5,50	0,55	5,14	6,13	0,99	µm
Pt	7,25	7,22	7,80	7,42	0,33	7,22	7,80	0,58	µm

Unterschrift:

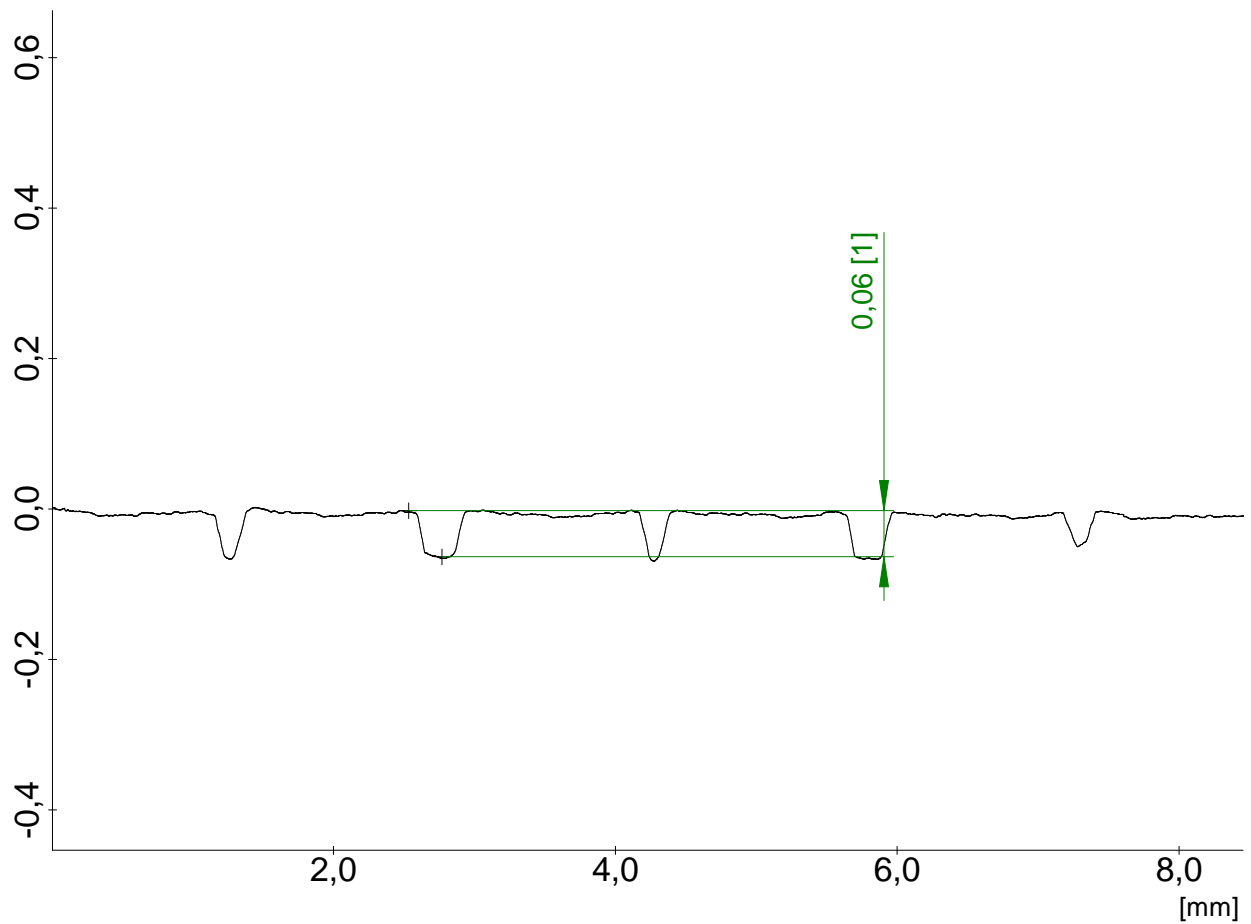
Kadner



Objekt: Probe 2
Nummer:
Prüfer: Kadner
Datum, Zeit: 2.7.2010, 13:37
Bemerkung: Fp = 100 bar
Taster: MFW-250 x 2.0 -12

Messergebnisse:
[1] 0,11 mm

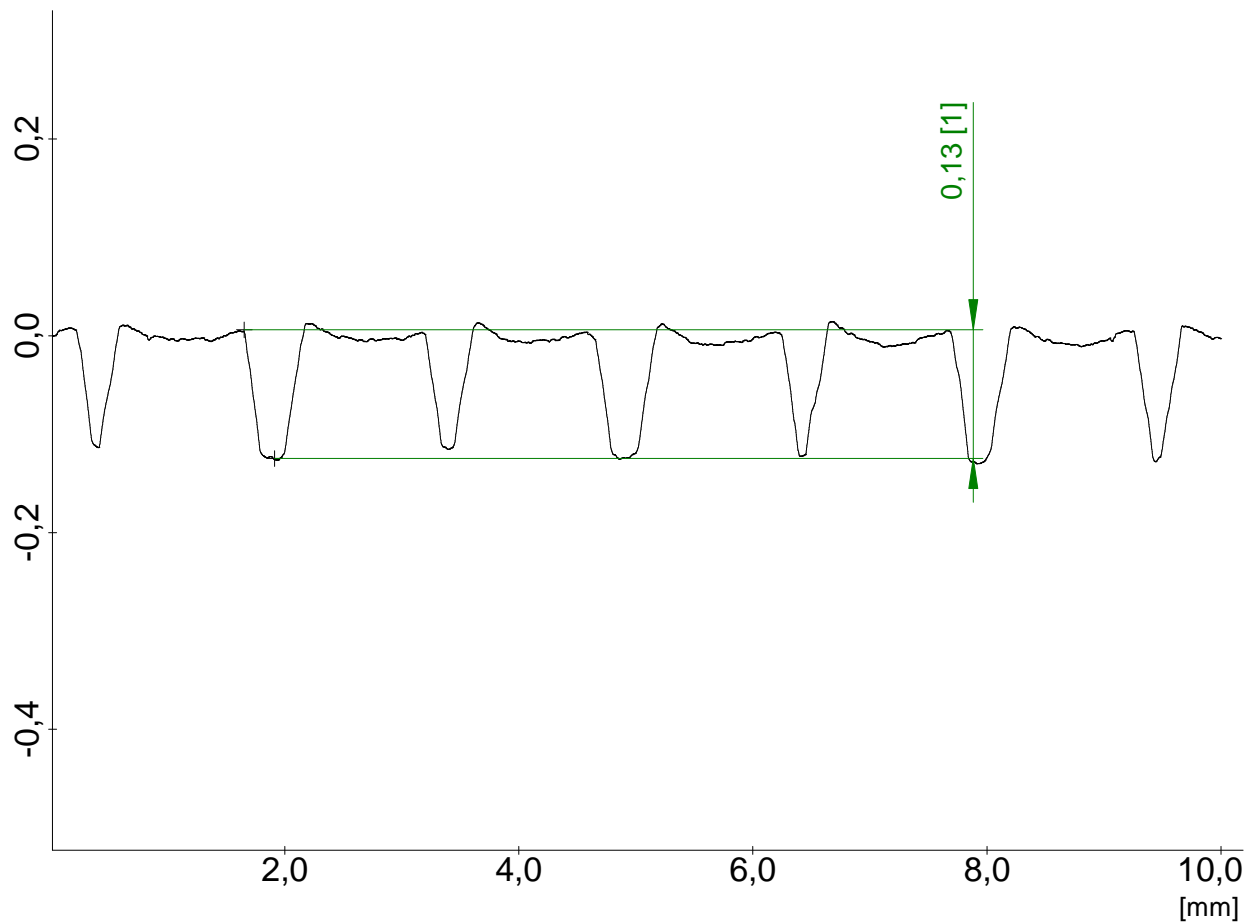
Unterschrift:



Objekt: Probe 2
Nummer:
Prüfer: Kadner
Datum, Zeit: 2.7.2010, 13:40
Bemerkung: Fp = 100 bar
Taster: MFW-250 x 2.0 -12

Messergebnisse:
[1] 0,06 mm

Unterschrift:



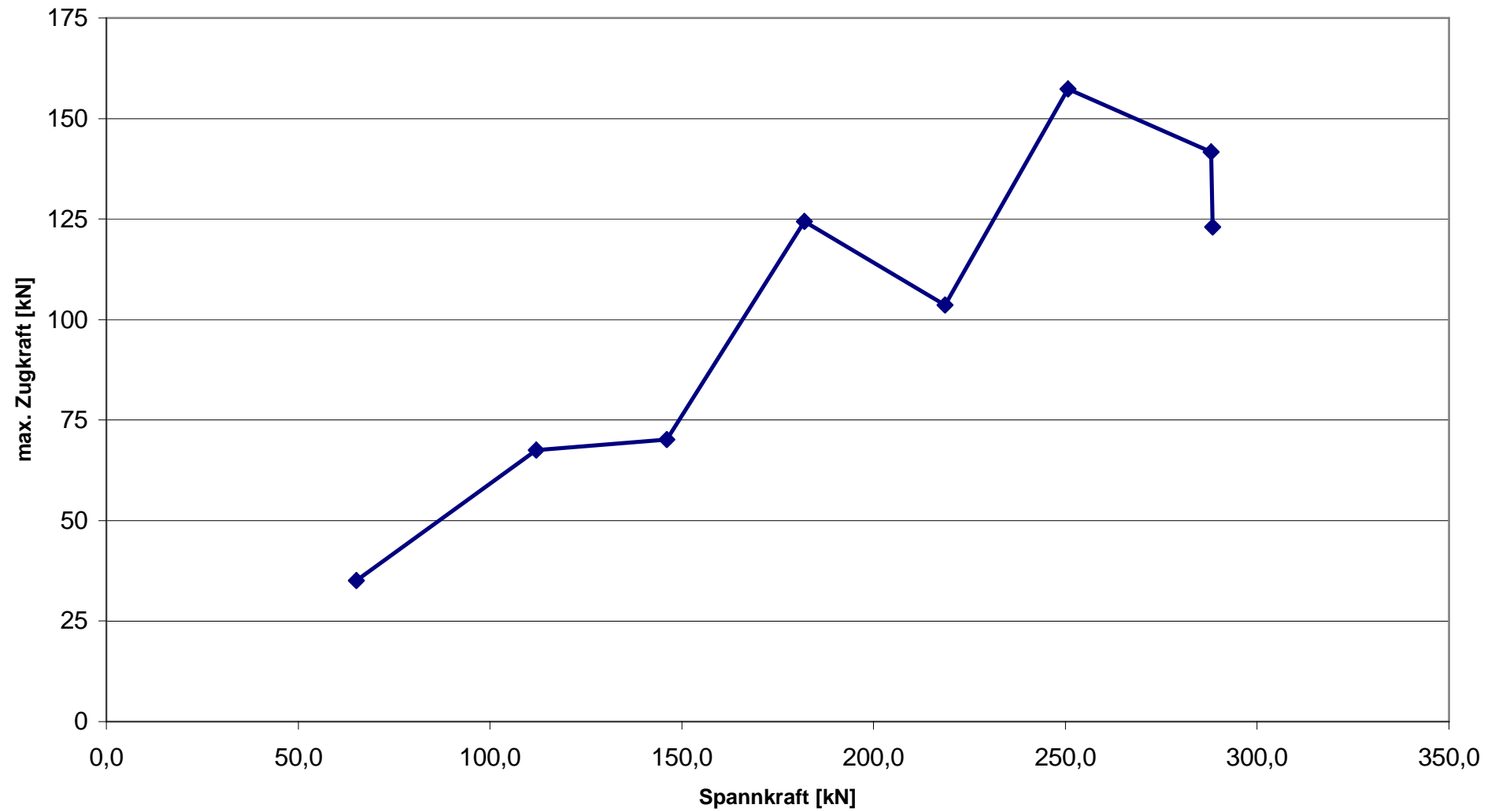
Objekt: Probe 2
Nummer:
Prüfer: Kadner
Datum, Zeit: 2.7.2010, 13:42
Bemerkung: Fp = 100 bar
Taster: MFW-250 x 2.0 -12

Messergebnisse:
[1] 0,13 mm

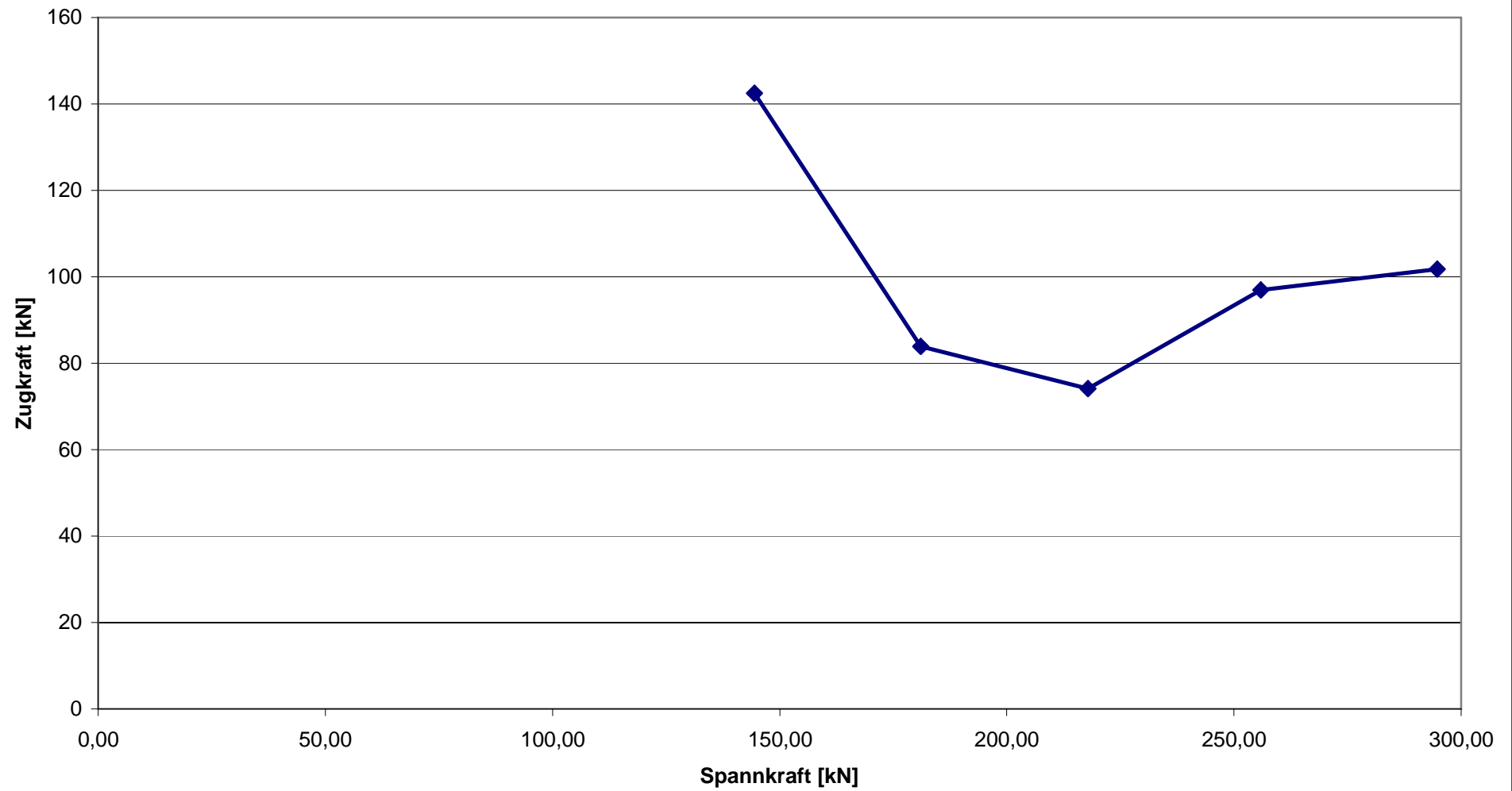
Unterschrift:

- D Grafische Übersicht der erreichten Zugkraft über die Spannkraft für die einzelnen Versuchsreihen**

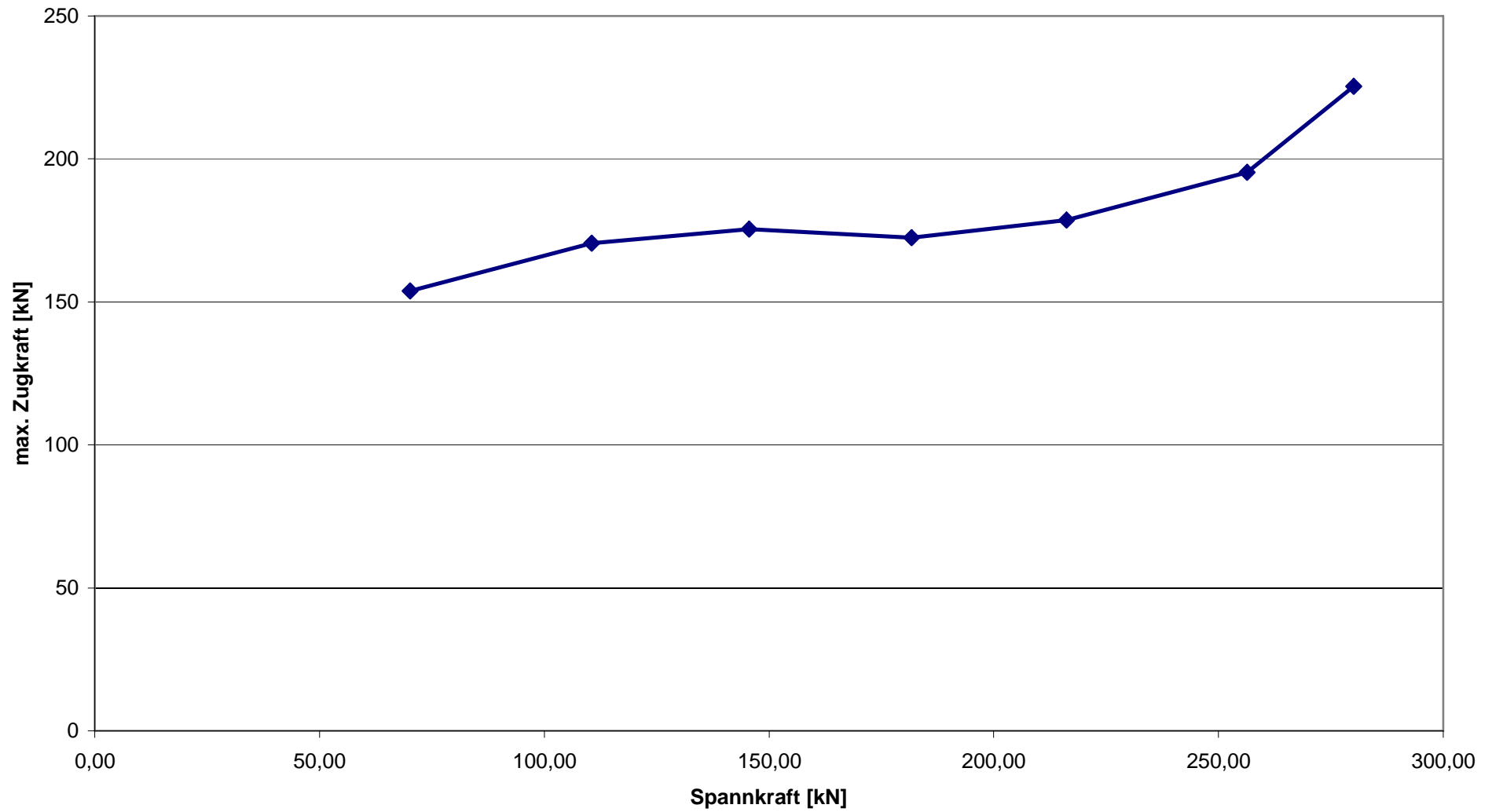
Darstellung der Zugkraft über die Spannkraft für ungerändelte Spannflächen der Proben 1-5



**Darstellung der Zugkraft über die Spannkraft für ungerändelte und gefettete Spannflächen der Proben
6-12**



Darstellung der Zugkraft über die Spannkraft für die Rändelung RKV der Proben 6-12



Darstellung der Zugkraft über die Spannkraft für die Rändelung RAA der Proben 13-14

